

## **A framework for online reverse auction based on market-maker learning with risk-averse buyer**

**Hojjat Tayaran\***

**Mehdi Ghazanfari\*\***

### **Abstract**

One of the new approaches to purchasing and procuring goods and materials in the supply chain is the use of reverse auction. With the rapid and ever-expanding development of information technology and the Internet around the world, the use of Internet platforms for this type of procure has also been taken into account and has created online reverse auction method. In this paper, a new framework for the online reverse auction process is provided that takes both sides of the procurement process (buyer and seller). The proposed auction process is a multi-attribute semi-sealed multi-round online reverse auction. In this process, an online market-maker, with the prediction of the buyer scoring function, facilitates the seller's bidding process. To fit the function, a multi-layer perceptron neural network model is used. In this case, in addition to hiding the seller's scoring function, information is provided to sellers to improve the bid. Also, the methods of scoring by the buyer are defined Additive, Multiplicative and risk aversion, which is based on the theory of perspective. Within this framework, sellers improve their bids in each round using an optimization model. By simulating the auction process, the proposed framework was evaluated in comparison with an open auction, taking into account seller scoring criteria, seller profits, and number of auction rounds.

**Keywords:** Online Reverse Auction, Risk Aversion, Neural Network, Multi-objective optimization

**JEL Classification :**A1, C6, C7, D4, F14

---

\* Ph.D Candidate, School of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Saeedtayaran20@gmail.com

\*\* Professor, Faculty of Industry, Iran University of Science and Technology (Corresponding Author), mehdi@iust.ac.ir

Date received: 2020/1/4, Date of acceptance: 2020/5/14

Copyright © 2010, IHCS (Institute for Humanities and Cultural Studies). This is an Open Access article. This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.



## ارائه چهارچوبی برای حراج معکوس آنلاین مبتنی بر یادگیری بازار ساز در شرایط ریسک‌گریزی خریدار

حجت طیران\*

مهدی غضنفری\*\*

### چکیده

حراج معکوس آنلاین یکی از رویکردهای تأمین کالا و مواد موردنیاز بر بستر اینترنت می‌باشد که در آن خریدار، یک یا چند فروشنده را بر اساس پیشنهادهای آن‌ها انتخاب می‌نماید. در این مقاله یک چهارچوب جدید برای فرایند حراج معکوس آنلاین ارائه شده است که هر دو سوی فرایند تأمین (خریدار و فروشنده) را در نظر می‌گیرد. فرایند حراج پیشنهادی یک حراج معکوس آنلاین چند شاخصه‌ی نیمه‌بسته چند دوره‌ای می‌باشد. در این فرایند یک بازار ساز آنلاین، با پیش‌بینی تابع امتیازدهی خریدار، فرایند پیشنهاددهی فروشندگان را تسهیل می‌نماید. در این شرایط، علاوه بر پنهان بودن تابع امتیازدهی فروشنده، اطلاعاتی جهت بهبود پیشنهاددهی در اختیار فروشندگان قرار می‌گیرد. برآزش تابع امتیازدهی توسط یک شبکه عصبی پرسپترون چندلایه در نظر گرفته شده است. همچنین روش‌های امتیازدهی خریدار به صورت جمعی، ضربی و ریسک‌گریز تعریف شده است. در این چهارچوب، فروشندگان در هر دور با استفاده از یک مدل بهینه‌سازی، پیشنهادهای خود را بهبود می‌بخشند. با شبیه‌سازی فرایند حراج، چهارچوب پیشنهادی با یک حراج باز مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در مدل پیشنهادی علاوه بر عدم افشای اطلاعات امتیازدهی خریدار، تفاوت معناداری در معیارهای ارزیابی با مدل حراج باز وجود ندارد.

\* دانشجوی دکتری صنایع، دانشکده صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، Saedtayaran20@gmail.com

\*\* استاد دانشکده صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران (نویسنده مسئول)، mehdi@iust.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۲۵

**کلیدواژه‌ها:** حراج معکوس آنلاین، ریسک‌گریزی، شبکه عصبی مصنوعی، بهینه‌سازی  
چندهدفه

طبقه‌بندی JEL: A1, C6, C7, D4, F14

## ۱. مقدمه

تأمین کالا و مواد موردنیاز در یک زنجیره‌ی تأمین کالایی، یکی از مهم‌ترین مسائل پژوهش‌های مرتبط با زنجیره‌ی تأمین می‌باشد و بازه‌ی گسترده‌ای از مباحث نظیر انتخاب تأمین‌کننده، فرایند خرید، حمل‌ونقل و ... را شامل می‌شود. حراج معکوس (Reverse Auction) از جمله روش‌هایی است که کارایی خود را در مواجهه با مسئله انتخاب بهترین گزینه‌ی خرید نشان داده است (Chen-Ritzo, Harrison, Kwasnica, & Thomas, 2005). حراج معکوس، همان‌طور که از نامش پیداست، ساختاری نظیر حراج پیشرو (Forward Auction) که همان حراج مرسوم (برای مثال حراج آثار هنری) دارد با این تفاوت که در این شکل از حراج، یک خریدار از چندین تأمین‌کننده/فروشنده بالقوه، درخواست می‌کند تا پیشنهادهای (Bids) خود را جهت فروش یک یا چندین نوع کالا، در اختیار وی بگذارند. سپس خریدار پس از بررسی پیشنهادها، یک و یا گروهی از تأمین‌کنندگان را جهت تأمین کالای خود انتخاب می‌نماید (Huang, Qian, Fang, & Wang, 2016).

از اواخر دهه‌ی ۱۹۹۰ با رشد ساختارهای تجارت الکترونیک، استفاده از فضای آنلاین جهت برگزاری حراج معکوس رشد چشم‌گیری داشته است. شرکت‌های بسیاری از بسترهای الکترونیکی حراج معکوس جهت تأمین کالاهای خود استفاده می‌کنند. استفاده از این رویکرد منجر به ایجاد صرفه‌جویی‌های زیادی در مقابل استفاده از سایر رویکردهای مرسوم تهیه و تدارک کالا به‌ویژه در کسب‌وکارهای B2B شده است (Pham, Teich, & Wallenius, 2015). بر این اساس پلتفرم‌های آنلاین توسط شرکت‌ها و محققان مختلف جهت سهولت فرآیند اجرایی حراج معکوس، با ویژگی‌های مختلف توسعه داده شده است.

علی‌رغم مزیت‌های بسیار حراج معکوس آنلاین، گاهی اوقات، طرف‌های معاملاتی پس از چندین دوره استفاده از این روش، دیگر تمایلی به استفاده‌ی مستمر از آن را نشان نمی‌دهند (Gupta, Parente, & Sanyal, 2012; Tassabehji, Taylor, Beach, & Wood, 2006). یکی از اصلی‌ترین دلایل این عدم تمایل، تمرکز فرآیند حراج معکوس آنلاین بر سمت

خریدار و غفلت از تمایلات و اولویت‌های تأمین‌کننده/فروشنده است. از سوی دیگر عدم انعطاف خریداران در فرآیند کشف بهترین گزینه‌ی موجود، منجر به دلسرد شدن فروشندگان و کاهش مطلوبیت انتظاری آنان می‌شود. به عبارت دیگر خریداران رغبت کمتری به روندهای چند دوره‌ای (Multi-Round) حراج معکوس نشان می‌دهند (Peng & Calvi, 2012). از دیگر دلایل این عدم تمایل می‌توان به تمرکز صرف خریداران بر قیمت اشاره نمود، درحالی‌که فروشندگان غالباً مایل‌اند تا بتوانند در شاخص‌هایی نظیر کیفیت، زمان تحویل، وارانته‌ی، شرایط پرداخت و ... نیز قابلیت‌های خود را عرضه و با سایر تأمین‌کنندگان به رقابت بپردازند (Jap, 2007). علاوه بر موارد ذکر شده، سطح افشای اطلاعات حراج برای هر دو سمت خریدار و فروشنده از چالش‌های این شیوه‌ی خرید است. اگرچه افزایش سطح افشای در کوتاه‌مدت منجر به بهبود برآیند حراج می‌گردد ولی در بلندمدت، نقض حریم اطلاعاتی شرکت‌ها، مشکلاتی را در این زمینه ایجاد می‌نماید؛ بنابراین باید راه‌حل میانه‌ای در این زمینه اتخاذ گردد (Greenwald, Kannan, & Krishnan, 2010).

براین اساس، در این تحقیق سعی شده است تا مدلی ارائه گردد که چالش‌های اشاره‌شده در بالا را مورد توجه قرار دهد و راه‌حلی برای رفع و یا کاهش اثر آن‌ها پیدا کند. در مدل پیشنهادی، تعیین بهترین گزینه‌ی خرید توسط خریدار در یک فرآیند چند دوره‌ای حراج معکوس آنلاین چند شاخصه نیمه‌بسته (Multi-Round Multi-Attribute Semi-Sealed Online reverse auction) با در نظر گرفتن هر دو سمت تراکنش (خریدار و فروشنده) صورت می‌پذیرد. امتیازدهی توسط خریدار، با استفاده از یک تابع امتیازدهی صورت می‌پذیرد. ورودی‌های تابع امتیازدهی، مقادیر پیشنهادی خریداران برای هر یک از شاخصه‌ها می‌باشد. در اینجا عبارت "نیمه‌بسته" شامل پنهان بودن تابع امتیازدهی خریدار می‌گردد و پیشنهاددهی فروشندگان همچنان برای سایر فروشندگان نامعلوم می‌باشد. مدل پیشنهادی این اجازه را به خریدار می‌دهد تا از سایر معیارهایی به‌غیر از قیمت در انتخاب بهترین گزینه‌ی خرید استفاده نماید و فروشندگان بتوانند پیشنهاد‌های متنوع‌تری را با توجه به قابلیت‌های خود ارائه نمایند. همچنین، در یک فرآیند چند دوره‌ای با افشای اطلاعات به صورت نیمه‌بسته، برخی پیشنهادها در هر دور به فروشندگان ارائه می‌گردد که علاوه بر حفظ حریم اطلاعاتی فروشندگان (نظیر پیشنهاد‌های، امتیازها و اولویت سایر فروشندگان) و خریدار (تابع مطلوبیت یا امتیازدهی فروشنده) بتوانند پیشنهاد‌های خود را در هر دور بهبود بخشند.

تفاوت عمده‌ی این پژوهش با سایر پژوهش‌های مشابه حراج معکوس چند شاخصه نظیر ( Cheng, 2011; Karakaya & Köksalan, 2016; Mansouri & Hassini, 2015; Mouhoub & Ghavamifar, 2016; Ray, Jenamani, & Mohapatra, 2011; Teich, Wallenius, Wallenius, & Zaitsev, 2006) که بر ارائه‌ی مکانیسم افشای اطلاعات تمرکز نموده‌اند، حضور مؤثر فراهم‌کننده‌ی خدمات آنلاین حراج معکوس (برای مثال یک شرکت که در سایت اینترنتی خود فرایند حراج را برگزار می‌کند)، به‌عنوان واسطی جهت بهبود فرآیند حراج، با ارائه‌ی پیش‌بینی‌هایی از تابع مطلوبیت یا امتیازدهی خریدار و همچنین تعریف مدل بهینه‌سازی چندهدفه پیشنهاددهی متفاوت برای خریدار می‌باشد. بدین منظور فراهم‌کننده‌ی خدمات آنلاین حراج معکوس از یک شبکه‌ی عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه جهت پیش‌بینی تابع امتیازدهی خریدار استفاده می‌نماید. همچنین فروشندگان، جهت بهینه‌سازی پیشنهادهای خود، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی را حل می‌نمایند. برای حل مدل مذکور از الگوریتم ژنتیک چند هدفه‌ی NSGA II استفاده شده است.

ادامه‌ی مقاله به‌صورت زیر سازمان‌دهی شده است: در بخش دوم، مرور ادبیات پژوهش‌های مرتبط با مدل‌سازی حراج معکوس چند شاخصه ارائه می‌شود. در بخش سوم، مسئله‌ی اصلی تحقیق تشریح می‌گردد. در بخش چهارم در یک فضای شبیه‌سازی شده، چندین مثال عددی جهت مقایسه حالت‌های مختلف ارائه و نتایج آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در نهایت در بخش پنجم، نتیجه‌گیری کلی مسئله و پیشنهادهایی جهت پژوهش‌های آتی مطرح می‌شود.

## ۲. مرور ادبیات

یک مسئله‌ی حراج، می‌تواند دارای ویژگی‌های مختلفی باشد (Teich, Wallenius, Wallenius, & Koppius, 2004). در یک تقسیم‌بندی کلی، ویژگی‌های یک حراج را با مرور ادبیات موضوع به ۱۶ دسته تقسیم کرده‌اند (جدول ۱). از آنجایی که مدل ارائه‌شده در این تحقیق مبتنی بر حراج معکوس چند شاخصه می‌باشد (مرتبط با ویژگی‌های ۳ و ۴ جدول ۱)، بررسی ادبیات به پژوهش‌هایی که دارای این دو ویژگی بوده‌اند محدود شده است.

جدول ۱: انواع ویژگی‌های حراج

ردیف	ویژگی	وضعیت	ردیف	ویژگی	وضعیت
۱	تعداد کالاها تحت حراج	یک تا چند کالا	۹	قیمت پرداختی به برنده	قیمت اول/قیمت دوم/قیمت n ام
۲	ذات کالاها	همگن/ناهمگن	۱۰	افتراق قیمتی	وجود دارد/وجود ندارد
۳	شاخصه‌ها	یک تا چند شاخصه	۱۱	محدودیت	وجود دارد/وجود ندارد
۴	نوع حراج	پیش‌رونده/معکوس	۱۲	مذاکره	وجود دارد/وجود ندارد
۵	ذات حراج	یک دوره‌ای/چند دوره‌ای	۱۳	استخراج تابع ارزش	وجود دارد/وجود ندارد
۶	حراج انگلیسی یا هلندی	قیمت صعودی/نزولی	۱۴	ذات پیشنهادهای	باز/نیمه‌بسته/بسته
۷	مشارکت‌کنندگان	با دعوت/باز	۱۵	تقسیم‌پذیری پیشنهاد	وجود دارد/وجود ندارد
۸	استفاده از واسط	وجود دارد/وجود ندارد	۱۶	مجاز بودن پیشنهادهای دسته‌ای	وجود دارد/وجود ندارد

منبع: (Teich et al., 2004)

مسائل حراج معکوس چند شاخصه را می‌توان بر اساس مسئله‌ی خریدار، مسئله‌ی فروشنده، تعداد دور حراج، تعداد شاخصه‌ها و همچنین نوع افشای اطلاعات خریدار یا فروشنده تقسیم‌بندی نمود.

برخی از پژوهش‌ها مدل‌هایی هم برای بهینه‌سازی انتخاب خریدار و پیشنهادهای فروشنده ارائه نموده‌اند (Beil & Wein, 2003; Che, 1993; Hu, Wang, Li, & Tong, 2018; Karakaya & Köksalan, 2011; Parkes & Kalagnanam, 2005; Perrone, Roma, & Nigro, 2010; Xu & Huang, 2017; Liu, Zhang, Qi, & Wang, 2020; Narasimhan, Talluri, & Mahapatra, 2008; Saroop, Sehgal, & Ravikumar, 2007; Wang, Qu, Goh, Wahab, & Zhou, 2019; Yang, Liao, & Huang, 2014). تنها سمت خریدار مورد توجه واقع شده است.

مسئله‌ی خریدار عموماً توسط امتیازدهی و یا حداکثرسازی تابع امتیازدهی انتظاری (Che, 1993; Perrone et al., 2010; Qian, Fang, Huang, & Wang, 2019; Yang et al., 2014)،

حداکترسازی مطلوبیت خریدار ( Beil & Wein, 2003; Karakaya & Köksalan, 2011; Saroop et al., 2007) حداکترسازی کارایی حراج (Parkes & Kalagnanam, 2005) حداقل-سازی هزینه‌ی خرید (Xu & Huang, 2017) و یا حداکترسازی احتمال تعیین برنده در دور آتی (Narasimhan et al., 2008) مدل‌سازی شده است.

مسئله‌ی فروشنده در شرایط رقابتی توسط روش‌هایی نظیر بازی بیزی (Che, 1993)، حداکترسازی مطلوبیت (Beil & Wein, 2003; Perrone et al., 2010) و یا حداکترسازی سود (Karakaya & Köksalan, 2011) در نظر گرفته شده است. حراج‌های معکوس می‌توانند تک دوره‌ای (Cheng, 2011; Parkes & Kalagnanam, 2005; Perrone et al., 2010; Xu & Huang, 2014; Yang et al., 2017)، دو دوره‌ای (Saroop et al., 2007) و یا چند دوره‌ای (Beil & Wein, 2003; Che, 1993; Karakaya & Köksalan, 2011; Narasimhan et al., 2008) باشند.

عموماً تعداد دوره‌های بیشتر در فرایند حراج می‌تواند به کشف قیمت‌های بهینه برای خریداران و همچنین افزایش سطح رقابت فروشندگان کمک نماید. این امر می‌تواند بر اساس اطلاعاتی که در هر دور در اختیار فروشندگان قرار می‌گیرد صورت پذیرد؛ بنابراین سطح افشای اطلاعات عامل مهمی در ارزیابی کارایی یک حراج می‌باشد (Dráb, Štofa, & Delina, 2020). افشای اطلاعات در پژوهش‌های حراج معکوس می‌تواند در سه دسته، موردبررسی قرار گیرد. ۱- افشای اطلاعات فروشنده برای سایر فروشندگان، ۲- افشای اطلاعات فروشنده برای خریدار و ۳- افشای اطلاعات خریدار برای فروشندگان.

افشای اطلاعات فروشندگان برای سایر فروشندگان، شامل اطلاعات مربوط به پیشنهادها ارائه شده و امتیاز و رتبه‌ی هر یک از فروشندگان می‌باشد. در شرایط واقعی، در اکثر مواقع، حراج‌های معکوس به شکل بسته اجرا می‌گردند، بدین معنا که اطلاعات فروشندگان به صورت مهر و موم شده (Sealed) در اختیار خریدار قرار می‌گیرد و نتیجه‌ی امتیازدهی و رتبه، به صورت خصوصی در اختیار فروشندگان قرار می‌گیرد. از آنجایی که این مدل در شرایط واقعی بیشتر مورد توجه قرار گرفته است، بنابراین بیشتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (Cheng, 2011; Narasimhan et al., 2008; Perrone et al., 2010; Saroop et al., 2007; Xu & Huang, 2017; Yang et al., 2014). با این وجود در برخی از پژوهش‌ها نظیر (Beil & Wein, 2003; Karakaya & Köksalan, 2011; Parkes & Kalagnanam, 2005) فرایند حراج به صورت باز (Open) در نظر گرفته شده است. در پژوهش (Che, 1993) جهت مدل‌سازی رقابت میان فروشندگان از بازی بیزی و افشای تابع



توزیع هزینه‌ی فروشندگان برای یکدیگر استفاده شده است. در شرایط واقعی عموماً اطلاعات فروشنده نظیر تابع هزینه و نحوه‌ی تعیین پیشنهاد، در اختیار خریدار قرار نمی‌گیرد و حراج در شرایط بسته صورت می‌پذیرد. نوع بسته‌ی افشای اطلاعات فروشنده برای خریدار مورد توجه پژوهش‌های (Che, 1993; Cheng, 2011; Karakaya & Köksalan, 2011; Saroop et al., 2007; Xu & Huang, 2017; Yang et al., 2014) بوده است. در برخی پژوهش‌ها تابع هزینه‌ی فروشنده (Parkes & Kalagnanam, 2005)، فرم پارامتری تابع هزینه فروشنده (Beil & Wein, 2003)، سطح شاخصه‌ها برای پیشنهادهای برنده‌ی پیشین، حداقل سطح آستانه برای شاخصه‌های غیرقیمتی و اهمیت نسبی شاخصه‌های پیشین (Narasimhan et al., 2008) و یا تابع توزیع پیشنهادها (Perrone et al., 2010) برای خریدار افشاء گردیده است. اطلاعات خریدار که می‌توان در یک فرایند حراج معکوس برای فروشندگان افشاء نمود، مرتبط با نحوه‌ی امتیازدهی خریدار است؛ بنابراین در برخی از پژوهش‌ها فرض بر این است که فروشندگان اطلاعات کاملی درباره نحوه اولویت‌دهی و یا تابع امتیازدهی خریدار دارند (Che, 1993; Parkes & Kalagnanam, 2005; Xu & Huang, 2017)، درحالی‌که در برخی پژوهش‌های دیگر، هیچ اطلاعاتی از خریدار در اختیار فروشندگان قرار نمی‌گیرد (Beil & Wein, 2003; Narasimhan et al., 2008; Yang et al., 2014).

در پژوهش‌هایی سعی شده است تا سازوکاری جهت ارائه‌ی اطلاعات مرتبط با نحوه‌ی امتیازدهی خریدار در اختیار فروشندگان قرار گیرد تا بتوانند پیشنهادهای خود را بهبود دهند. این ایده می‌تواند علاوه بر حفظ حریم اطلاعاتی خریدار، به افزایش سطح رقابت در فرایند حراج و همچنین افزایش مطلوبیت خریدار کمک نماید. در پژوهش‌های (Sarooop et al., 2007) و (Karakaya & Köksalan, 2011)، سطحی از اطلاعات خریدار جهت بهبود پیشنهاد-دهی فروشندگان افشاء می‌گردد. در مدل پیشنهادی (Sarooop et al., 2007)، فروشندگان شاخصه‌های خود را در دو گروه شاخصه‌هایی با حریم اطلاعاتی رقابتی و شاخصه‌های عمومی به خریدار پیشنهاد می‌دهند. خریدار مطابق با یک الگوریتم افشای اطلاعاتی، سطحی از اطلاعات محرمانه‌ی خود را (اوزان شاخصه‌های دارای حریم اطلاعاتی رقابتی در تابع مطلوبیت) افشاء می‌نماید و فروشندگان بر این اساس پیشنهادهای جدید خود را ارائه می‌دهند. در این تحقیق مسئله‌ی فروشنده مورد بررسی قرار نگرفته است و از آنجایی‌که الگوریتم تعیین سطح افشای اطلاعات به پیشنهادهای ارائه‌شده توسط فروشندگان وابسته می‌باشد، رابطه‌ی تعاملی میان فروشندگان و خریدار مورد غفلت واقع شده است. در مقاله‌ی

(Karakaya & Köksalan, 2011) در هر دور، فروشندگان، با استفاده از اطلاعات پیشنهادی سایر فروشندگان و امتیازات آنها، تابع مطلوبیت خریدار (اوزان تابع مطلوبیت) را پیش‌بینی می‌کنند و با استفاده از حل یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی باهدف حداکثر سازی سود، پیشنهاد خود را ثبت می‌کنند. تابع امتیازدهی خریدار به صورت تابع فاصله‌ای موزون  $L_{\alpha}$  متریک در نظر گرفته شده است و نحوه‌ی مدل‌سازی فرآیند پیش‌بینی به گونه‌ای است که امکان استفاده از سایر توابع امتیازدهی وجود ندارد.

در این تحقیق یک مدل حراج معکوس آنلاین چند دوره‌ای، با قابلیت ارائه‌ی دو یا بیش از دو شاخصه ارائه شده است. در این مدل علاوه بر مدل‌سازی مسئله‌ی خریدار و فروشنده و همچنین عدم افشای اطلاعات فروشندگان برای یکدیگر، سطحی از افشای اطلاعات خریدار مستقل از نحوه‌ی امتیازدهی و نوع تابع امتیازدهی خریدار، برای بهبود پیشنهاددهی فروشندگان در یک فرآیند چند دوره‌ای ارائه شده است. در این چهارچوب، یک بازار ساز آنلاین که برگزارکننده‌ی حراج در یک پلتفرم آنلاین می‌باشد، در هر دور تخمین تابع امتیازدهی خریدار را در اختیار فروشندگان قرار می‌دهد. تخمین تابع امتیازدهی با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی صورت می‌پذیرد، بنابراین مستقل از نوع تابع امتیازدهی خریدار، امکان پیش‌بینی آن برای بازار ساز آنلاین وجود دارد. تخمین تابع امتیازدهی بر اساس اطلاعات حراج‌های پیشین خریدار (در صورت وجود) در پلتفرم آنلاین و اطلاعات به دست آمده از دوره‌های پیشین حراج در حال برگزاری، انجام می‌پذیرد. در جدول ۲، خلاصه‌ای از تحقیقات بررسی شده‌ی مرتبط با حراج معکوس چند شاخصه و همچنین مدل پیشنهادی این تحقیق (سطر آخر) با توجه به تقسیم‌بندی اشاره شده در ابتدای این بخش ارائه شده است.

جدول ۲: تحقیقات مرتبط با حراج معکوس چند شاخصه و مدل پیشنهادی

مرجع	مسئله خریدار	مسئله فروشنده	تعداد دور	تعداد شاخصه	افشای اطلاعات	
					خریدار	سایر فروشندگان
(Che, 1993)	تعیین بالاترین امتیاز توسط تابع امتیازدهی	راه حل تعادلی برای بازی بیزی	چند دوره‌ای	دو	باز	تابع توزیع هزینه
Beil & Wein, (2003)	پیش‌بینی تابع هزینه فروشندگان با استفاده از بهینه‌سازی معکوس و حداکثرسازی مطلوبیت	تابع مطلوبیت	چند دوره‌ای	دو یا بیشتر	بسته	تخمین فرم پارامتری تابع هزینه
Parkes & Kalagnanam, 2005)	حداکثرسازی کارایی	حداکثرسازی کارایی	تک دوره‌ای	دو یا بیشتر	باز	تابع هزینه
Saroop et al., (2007)	مدل تحلیل پوششی داده‌ها باهدف حداکثرسازی تابع مطلوبیت	-	دو دوره‌ای	دو یا بیشتر	تابع اولویت‌دهی شاخصه‌های عمومی در دور اول و برخی از شاخصه‌های خصوصی در صورت نیاز فروشنده در دور دوم	بسته
Narasimhan (et al., 2008)	تحلیل پوششی داده‌ها باهدف حداکثرسازی احتمال تعیین برنده در دور بعدی	-	چند دوره‌ای	دو یا بیشتر	بسته	ارائه سطح شاخصه‌ها برای پیشنهادهای برنده‌ی پیشین، حداقل سطح آستانه برای شاخصه‌های غیر قیمتی و اهمیت

مرجع	مسئله خریدار	مسئله فروشنده	تعداد دور	تعداد شاخصه	افشای اطلاعات خریدار	افشای اطلاعات سایر فروشندگان	خریدار
Perrone et al., (2010)	حداکثرسازی امتیاز انتظاری	حداکثرسازی مطلوبیت انتظاری	تک دوره‌ای	دو	تابع توزیع امتیاز	بسته	نسبی شاخصه‌ها توسط پلتفرم آنلاین
Karakaya & Köksalan, (2011)	حداکثرسازی تابع مطلوبیت	حداکثرسازی سود	چند دوره‌ای	دو یا بیشتر	تخمین تابع موزون امتیازدهی $L_{\alpha}$ متریک بر اساس امتیازهای پیشین	بسته	بسته
(Cheng, 2011)	حداقل‌سازی فازی هزینه‌ی خرید (قیمت) و اختلاف زمان تحویل انتظاری بازمان تحویل پیشنهادی و تابع هدف فروشنده	حداکثرسازی سود با در نظر گرفتن ارضای محدودیت‌های برنامه‌ی تولید فروشنده	تک دوره‌ای	دو یا بیشتر	برنامه زمان‌بندی تولید	بسته	بسته
Yang et al., (2014)	استخراج مدل اولویت-دهی با استفاده از اطلاعات خریدار در یک پلتفرم آنلاین و حداکثرسازی آن	-	تک دوره‌ای	دو یا بیشتر	بسته	بسته	بسته
Xu & Huang, (2017)	حداقل‌سازی هزینه‌ی خرید	حداکثرسازی سود	تک دوره‌ای	دو یا بیشتر	باز	بسته	بسته
Hu et al., (2018)	حداکثرسازی تابع مطلوبیت	حداکثرسازی تابع مطلوبیت	چند دوره‌ای	دو یا بیشتر	بسته	بسته	بسته

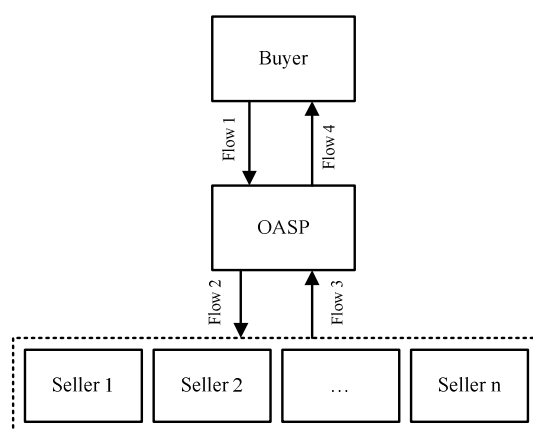
ارائه چهارچوبی برای حراج معکوس آنلاین مبتنی بر ... (حجت طبران و مهدی غضنفری) ۴۱

مرجع	مسئله خریدار	مسئله فروشنده	تعداد دور	تعداد شاخصه	افشای اطلاعات	
					افشای اطلاعات خریدار	افشای اطلاعات فروشنده
Qian et al., (2019)	حداکثرسازی امتیاز یا استفاده از چهارچوب BOCR-uRTODIM	-	تک دوره‌ای	دو یا بیشتر	بسته	سایر فروشندگان
Liu et al., (2020)	حداکثرسازی عایدی بر اساس بازی تکاملی	-	چند دوره‌ای	دو یا بیشتر	بسته	بسته
مدل پیشنهادی	تعیین بالاترین امتیاز توسط تابع امتیازدهی	حداکثرسازی سود و حداقل سازی فاصله تا پیشنهاد ایدئال برای خریدار	چند دوره‌ای	دو یا بیشتر	بسته	تخمین تابع امتیازدهی توسط بازار ساز آنلاین با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

منبع: بررسی‌های پژوهش

### ۳. تصریح مدل

ساختار یک حراج معکوس تفاوت عمده‌ای با یک حراج پیشرو دارد. در حراج پیشرو (نظیر حراجی‌های آثار هنری یا عتیقه‌جات) خریداران پیشنهاد‌های خود را در اختیار فروشنده قرار می‌دهند تا فروشنده، بهترین پیشنهاد را جهت فروش کالای خود انتخاب نماید. در یک حراج معکوس، فروشندگان پیشنهاد‌های خود را در اختیار خریدار قرار می‌دهند تا خریدار بهترین پیشنهاد را جهت خرید کالای خود انتخاب نماید. چهارچوب پیشنهادی این تحقیق بر اساس یک حراج معکوس چند شاخصه‌ی چند دوره‌ای تک کالایی است. شرکت در فرایند حراج آزاد می‌باشد و شرکت‌کنندگان مستقیماً می‌توانند در حراج شرکت نمایند. اجرای حراج توسط یک بازار ساز که در اینجا این بازار ساز را فراهم‌کننده خدمات حراج آنلاین (OASP) می‌نامیم، مدیریت می‌گردد. در رویکرد ارائه‌شده، OASP نقشی کلیدی بازی می‌کند. OASP در هر دور از فرایند حراج، تخمینی از تابع اولویت خریدار را در اختیار فروشندگان می‌گذارد تا بتوانند در دور آتی، پیشنهاد‌های مؤثرتری را ارائه دهند. شکل ۱، جریان اطلاعاتی فرایند حراج را نشان می‌دهد:



شکل ۱: جریان اطلاعاتی فرایند حراج

باتوجه به شکل ۱، در جدول ۳، فرایند هر یک از جریان‌های میان خریدار، OASP و فروشندگان تشریح شده است.

جدول ۳: فرآیند جریان‌های اطلاعاتی حراج

دور	$N = 1$	$N \geq 1$
Flow 1	خریدار، درخواست برگزاری حراج را در پلتفرم تهیه‌شده توسط OASP ثبت می‌کند. این درخواست شامل نوع کالای درخواستی، قیمت و ویژگی‌های مدنظر خریدار برای کالا و شرط توقف حراج می‌باشد.	خریدار، پس از دریافت پیشنهادهای فروشندگان از طریق OASP، امتیاز و رتبه‌ی هر یک از خریداران را مشخص می‌کند. در دور دوم، خریدار این اطلاعات را در اختیار OASP می‌گذارد. در دوره‌های بعدی، در صورتی که بالاترین امتیاز به میزان از پیش تعیین‌شده‌ای بهبود نیابد، اطلاعات را در اختیار OASP می‌گذارد و در غیر این صورت، فرایند حراج با تعیین بالاترین امتیاز به‌عنوان برنده، متوقف می‌گردد.
Flow 2	OASP، درخواست حراج ثبت‌شده را به‌صورت باز منتشر می‌نماید. در این آگهی انتشار از متقاضیان شرکت در حراج درخواست می‌گردد تا در مدت‌زمان مشخصی، پیشنهاد خود را مطابق با درخواست ثبت‌شده‌ی خریدار در پلتفرم OASP ثبت نمایند.	OASP، با استفاده از اطلاعات مربوط به پیشنهادهای فروشندگان و امتیازات ارسال‌شده توسط خریدار، اطلاعات زیر را در اختیار فروشندگان قرار می‌دهد: امتیاز و رتبه‌ی هر یک از فروشندگان در اختیار خود فروشنده قرار می‌گیرد تخمین تابع امتیاز خریدار در اختیار همه‌ی فروشندگان قرار می‌گیرد
Flow 3	فروشندگان با توجه به شرایط خود و درخواست ارائه‌شده، پیشنهادهای خود را در پلتفرم OASP ثبت می‌نمایند.	فروشندگان با استفاده از اطلاعات اخذشده از OASP، پیشنهاد بهینه‌ی خود را محاسبه می‌نمایند و پیشنهاد جدید را در OASP ثبت می‌نمایند.
Flow 4	OASP، تمامی اطلاعات اخذشده توسط فروشندگان را در اختیار خریدار قرار می‌دهد. این اطلاعات شامل هویت فروشندگان و پیشنهادهای ثبت‌شده می‌باشد.	OASP، جزئیات پیشنهاد جدید را در اختیار خریدار قرار می‌دهد.

#### منبع: مدل پیشنهادی تحقیق

یک بازار ساز به‌عنوان واسطه، تاریخچه‌ی عملیات حراج برای خریداران را در اختیار دارد. از این رو در صورتی که خریدار در تابع امتیازدهی خود تغییری ایجاد نکرده باشد، بازار ساز می‌تواند با استفاده از داده‌های حراج‌های گذشته‌ی خریدار، تخمین مناسب‌تری برای تابع امتیازدهی داشته باشد. در صورتی که یک فروشنده برای نخستین‌بار از پلتفرم حراج استفاده نماید، تعیین برندگان حراج از دوره‌های بالاتر (برای مثال دور دوم به بعد) تعیین می‌گردد تا داده‌های کافی جهت برازش تابع امتیازدهی کسب گردد. در این شرایط گاه‌ها می‌توان تعداد نمونه‌ها جهت برازش تابع را با نمونه‌برداری مجدد از داده‌های کسب‌شده از دوره‌های آغازین تأمین نمود. در ادامه به تشریح فرمول‌بندی ریاضی فرایند حراج می‌پردازیم.

مسئله‌ای را فرض کنید که در آن  $n$  فروشنده،  $K$  شاخصه و یک خریدار وجود دارد. فروشنده  $i$  ام یک پیشنهاد برداری  $S_i^j = (a_{i1}^j, \dots, a_{ik}^j)$  را در هر دور تا اعلام پایان حراج و تعیین برنده، در اختیار OASP می‌گذارد بطوریکه  $a_{ik}^j$ ،  $k$  امین شاخصه‌ی پیشنهادی فروشنده‌ی  $i$  ام در دور  $j$  ام حراج می‌باشد. در دور اول، هر یک از فروشندگان بنا به قابلیت‌های خود پیشنهاد اولیه‌ای را در پلتفرم OASP ثبت می‌کنند. این پیشنهاد توسط OASP، در اختیار خریدار قرار می‌گیرد. در این مقاله، به منظور محاسبه‌ی امتیاز فروشندگان توسط خریدار، سه سناریو در نظر گرفته شده است. در ادامه مسائلی که خریدار، OASP و فروشنده با آن مواجه می‌باشند، تشریح می‌گردد.

### ۱.۳ مسئله خریدار

خریدار در هر دور، پس از دریافت پیشنهادها  $S_i^j = (a_{i1}^j, \dots, a_{ik}^j)$  فروشندگان، با توجه به مثبت یا منفی بودن شاخصه‌ها، مقادیر پیشنهادها را نرمال‌سازی می‌کنند (رابطه ۱ برای شاخصه‌های مثبت و رابطه ۲ برای شاخصه‌های منفی). سپس با استفاده از تابع امتیازدهی خود، امتیاز هر یک از فروشندگان را محاسبه می‌نماید. در اینجا ۳ نوع تابع امتیازدهی برای خریدار مورد مقایسه قرار گرفته است: تابع امتیازدهی جمعی، تابع امتیازدهی ضربی و تابع امتیازدهی ریسک‌گریز

$$\hat{a}_{ik}^j = \frac{a_{ik}^j}{\max \{a_{1k}^j, a_{2k}^j, \dots, a_{nk}^j\}} \text{ for } i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, K, \text{ and positive attributes} \quad (1)$$

$$\hat{a}_{ik}^j = \frac{\max \{a_{1k}^j, a_{2k}^j, \dots, a_{nk}^j\}}{a_{ik}^j} \text{ for } i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, K, \text{ and negative attributes} \quad (2)$$



### ۱.۱.۳ تابع امتیازدهی جمعی و ضربی خریدار

در تابع امتیازدهی جمعی (Additive)، امتیازدهی فروشندگان بر اساس جمع موزون مقادیر شاخصه‌ها (رابطه ۳) و در تابع امتیازدهی ضربی (Multiplicative)، بر اساس حاصل ضرب موزون شاخصه‌ها (رابطه ۴) صورت می‌پذیرد (Huang et al., 2016). در این رابطه  $w_k$  وزن شاخصه‌ی  $k$  ام، می‌باشد.

$$Score_i^j = \sum_{k=1}^K w_k a_{ik}^j \quad (۳)$$

$$Score_i^j = \prod_{k=1}^K (1 + w_k a_{ik}^j) - 1 \quad (۴)$$

### ۲.۱.۳ تابع امتیازدهی ریسک‌گریز خریدار

در این سناریو رفتار ریسک‌گریزی (Risk-Aversion) خریدار بر اساس مبانی تئوری چشم-انداز تعریف می‌گردد (Kahneman & Tversky, 2013). در این حالت، خریدار برای هر یک از شاخصه‌ها، مقدار ایده‌آل  $S_i^{j*} = (a_{i1}^{j*}, \dots, a_{ik}^{j*})$  را تعریف می‌نماید. ابتدا هر یک از پیشنهادهای توسط رابطه‌ی ۴، به یک پیشنهاد ریسک‌گریز تبدیل می‌شود (Huang et al., 2016):

$$A_{ik}^j = \begin{cases} (a_{ik}^j - a_{ik}^{j*})^\alpha & a_{ik}^j - a_{ik}^{j*} \geq 0 \\ -\theta(a_{ik}^{j*} - a_{ik}^j)^\beta & a_{ik}^j - a_{ik}^{j*} < 0 \end{cases} \quad (۵)$$

در رابطه ۴،  $0 < \alpha < 1$  و  $0 < \beta < 1$  به ترتیب پارامترهای مرتبط با سود (بزرگ‌تر بودن مقدار شاخصه از مقدار ایده‌آل) و زیان (کوچک‌تر بودن مقدار شاخصه از ایده‌آل) می‌باشد. پارامتر  $\theta$  بیانگر رفتار ریسکی خریدار می‌باشد.  $\theta > 1$  به معنای ریسک‌گریزی،  $0 < \theta < 1$ ، ریسک‌پذیری و  $\theta = 1$  ریسک‌خشی می‌باشد. مشابه با رابطه‌ی ۳ امتیاز اولیه از رابطه ۶ به دست می‌آید:

$$iScore_i^j = \sum_{k=1}^K w_k A_{ik}^j \quad (۶)$$

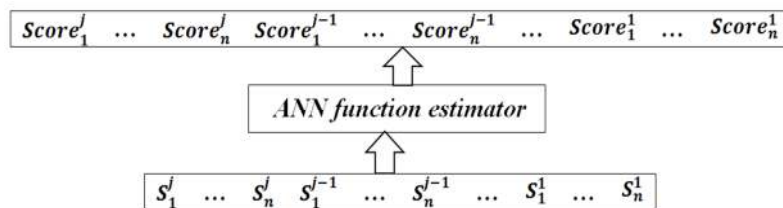
از آنجایی که امکان منفی شدن امتیاز وجود دارد، از رابطه‌ی ۷، امتیاز نهایی محاسبه می‌-

گردد:

$$Score_i^j = \begin{cases} iScore_i^j - \min\{iScore_i^j, i = 1, \dots, n\} + 1 & \min\{iScore_i^j, i = 1, \dots, n\} < \\ iScore_i^j + \min\{iScore_i^j, i = 1, \dots, n\} + 1 & \min\{iScore_i^j, i = 1, \dots, n\} > \end{cases} \quad (7)$$

### ۲.۳ مسئله OASP

پس از محاسبه امتیاز هر یک از فروشندگان و رتبه‌بندی آنها، این اطلاعات در اختیار OASP قرار می‌گیرد. OASP با استفاده از مدل‌سازی شبکه‌ی عصبی پرسپترون چندلایه تابع امتیازدهی خریدار را تخمین می‌زند. ساختار تخمین تابع امتیازدهی خریدار با استفاده از شبکه عصبی به صورت شکل ۲ می‌باشد. در این ساختار ورودی‌های مدل، پیشنهادهای فروشندگان تا دوره‌ی  $j$ ام می‌باشد و مقادیر هدف، امتیازهای هر یک از پیشنهادهای می‌باشد. OASP با آموزش شبکه‌ی عصبی، تابع  $net^j(S_i^j)$  را جهت بهبود پیشنهادهای فروشندگان، در اختیار آنها می‌گذارد.



شکل ۲: ساختار تخمین تابع امتیازدهی خریدار با استفاده از شبکه عصبی

### ۳.۳ مسئله فروشنده

فروشنده، برای تعیین مقادیر پیشنهاد جدید خود از پیش‌بینی تابع امتیازدهی که توسط OASP انجام شده، استفاده می‌نماید. مسئله‌ی تعیین پیشنهاد جدید برای فروشنده در دوره‌ی  $j$ ام به صورت مسئله‌ی ۸ تا ۱۱ طراحی شده است.

$$\max \quad \pi_i^j = a_{i,1}^j - C(S_i^j) \quad (8)$$

$$\min \quad d_i = \left| net^j(S_i^j) - net^j(S_i^{j*}) \right| \quad (9)$$

ارائه چهارچوبی برای حراج معکوس آنلاین مبتنی بر ... (حجت طیران و مهدی غضنفری) ۴۷

$$s. t \quad \frac{net^j(S_i^j)}{net^j(S_i^{j-k})} \geq \quad \text{for } k = 1, \dots, j-1 \quad (10)$$

$$\underline{a}_{ik}^j \leq a_{ik}^j \leq \overline{a}_{ik}^j \quad \text{for } k = 1, \dots, K \quad (11)$$

با فرض اینکه  $a_{i1}^j$  شاخصه‌ی قیمت در دوره‌ی  $j$  ام می‌باشد، در تابع هدف رابطه ۸، سود خریدار  $i$  ام حداکثر می‌گردد بطوریکه  $C(S_i^j)$  تابع هزینه‌ی پیشنهاد  $S_i^j$  می‌باشد. در تابع هدف رابطه ۹، فاصله‌ی میان تخمین امتیاز پیشنهاد فعلی و تخمین امتیاز پیشنهاد ایده آل  $S_i^{j*}$  از دید خریدار حداقل می‌گردد. پیشنهاد ایده آل  $S_i^{j*}$  عبارت است از حد بالای شاخصه‌ی  $a_{ik}^j$  برای شاخصه‌های مثبت و حد پایین برای شاخصه‌های منفی. در صورتی که خریدار مقادیر ایده آل خود را برای هر شاخصه پیشنهاد دهد، فروشندگان از این مقادیر استفاده می‌نمایند در غیر این صورت، هر فروشنده از پیش‌بینی خود برای مقدار ایده آل خریدار استفاده می‌نماید. محدودیت رابطه ۱۰ تصریح می‌کند که امتیاز تخمینی برای پیشنهاد فعلی، بالاتر از امتیاز تخمینی پیشنهادهای دوره‌های قبلی باشد. محدودیت رابطه ۱۱، حدود توانایی خریدار را در عرضه‌ی یک شاخصه مشخص می‌نماید بطوریکه  $\underline{a}_{ik}^j$  حد پایین و  $\overline{a}_{ik}^j$  حد بالای شاخصه‌ی  $a_{ik}^j$  می‌باشد.

#### ۴. ارزیابی مدل

در این قسمت به منظور ارزیابی مدل ارائه شده، فرایند حراج پیشنهادی با در نظر گرفتن چند عامل فروشنده و یک عامل خریدار شبیه‌سازی شده است. بدین منظور از نرم‌افزار MATLAB نسخه‌ی ۲۰۱۶ استفاده شده است. هدف اصلی شبیه‌سازی، ارزیابی کارایی مدل در وضعیت‌های مختلف می‌باشد. ارزیابی در دو حالت معلوم بودن تابع امتیازدهی خریدار (حالت باز)، تخمین تابع امتیازدهی توسط OAS (حالت نیمه‌بسته) در نظر گرفته شده است. برای هر یک از دو حالت، سه نوع تابع امتیازدهی جمعی، ضربی و ریسک‌گریز در نظر گرفته شده است.

در حالت باز مدل مسئله‌ی فروشنده تبدیل به مسئله‌ی ۱۱-۱۴ می‌گردد.

$$\max \quad \pi_i^j = a_{i1}^j - C(S_i^j) \quad (12)$$

$$\min \quad d_i = \left| \text{Score}(S_i^j) - \text{Score}(S_i^{j*}) \right| \quad (13)$$

$$s. t \quad \text{Score}(S_i^j) \geq \text{Score}(S_i^{j-k}) \quad \text{for } k = 1, \dots, j-1 \quad (14)$$

$$a_{i1}^j - C(S_i^j) > 0$$

$$\underline{a}_{ik}^j \leq a_{ik}^j \leq \overline{a}_{ik}^j \quad \text{for } k = 1, \dots, K \quad (15)$$

همچنین معیارهای زیر به عنوان شاخص هایی جهت ارزیابی مدل در نظر گرفته می شود.

۱. میانگین امتیازات نفر برنده

۲. میانگین سود نفر برنده

۳. تعداد دور در هر فرایند حراج

فرایند شبیه سازی در حالت کلی به صورت شبه کد ارائه شده در جدول ۴ صورت می -

پذیرد.

جدول ۴: شبه کد فرایند شبیه سازی مسئله

گام	شرح
۱	راه اندازی
۲	تعداد تکرار شبیه سازی I=
۳	تعداد فروشندگان n=
۴	آستانه بهبود $\Delta_T$
۵	$1=S$
۶	تا زمانی که $S < I$ گام های ۵-۱۵ را انجام بده
۷	دور $1=j$
۸	به تعداد n پیشنهاد تصادفی $S_i^j = (a_{i1}^j, \dots, a_{ik}^j)$ تولید می گردد
۹	برای هر n پیشنهاد $Score_i^j$ محاسبه می گردد
۱۰	بالاترین $Score_i^j$ و i مربوطه ذخیره می گردد
۱۱	شبکه ی عصبی برای ورودی $(S_1^j, \dots, S_n^j, S_1^{j-1}, \dots, S_n^{j-1}, \dots, S_1^1, \dots, S_n^1)$ و هدف $(Score_1^j, \dots, Score_n^j, Score_1^{j-1}, \dots, Score_n^{j-1}, \dots, Score_1^1, \dots, Score_n^1)$ آموزش داده می شود

$j + 1 = j$	۱۲
$n$ پیشنهاد جدید $S_i^{j+1} = (a_{i1}^{j+1}, \dots, a_{ik}^{j+1})$ با حل مدل فروشنده بدست می‌آید.	۱۳
برای هر $n$ پیشنهاد $Score_i^{j+1}$ محاسبه می‌گردد	۱۴
بالاترین $Score_i^j$ و $i$ مربوطه ذخیره می‌گردد	۱۵
اگر $\Delta = \frac{Score_i^{j+1} - Score_i^j}{Score_i^j} \geq \Delta_T$ در $11$ در غیر اینصورت برو به $17$	۱۶
پایان	۱۷

#### منبع: مدل پیشنهادی تحقیق

در فرایند شبیه‌سازی مقادیر پارامترهای تعداد تکرار شبیه‌سازی (I)، تعداد فروشندگان (n)، آستانه بهبود ( $\Delta$ ) و پارامترهای تابع امتیازدهی ریسک گریز خریدار  $(\theta, \alpha, \beta)$  به صورت جدول ۵ در نظر گرفته شده است. تابع هزینه رابطه‌ی ۵ به صورت ترکیب وزنی شاخصه‌ها در نظر گرفته شده است یعنی:  $C(S_i^j) = \sum_{k=1}^K u_k \hat{a}_{ik}^j$ . مقدار هزینه‌ی واحد  $u_k$  برای محاسبه‌ی تابع هزینه‌ی فروشندگان، اوزان  $w_k$  توابع امتیازدهی خریدار برای هر یک از شاخصه‌ها و بردار پیشنهاد ایده‌آل  $S_i^{j*}$  در پیوست الف ارائه شده است. در هر تکرار شبیه‌سازی، مقادیر پارامترهای جدول ۵، و پارامترهای اشاره شده  $(S_i^{j*}$  و  $w_k, u_k)$  ثابت می‌باشد و تنها بردار اولیه‌ی پیشنهاد برای هر یک از فروشندگان تغییر می‌نماید. همچنین این مقادیر ثابت جهت مقایسه‌ی دو حالت معلوم بودن تابع خریدار (باز و نیمه بسته) و سه حالت تابع امتیازدهی خریدار (جمع‌ی، ضربی، ریسک گریز) یکسان در نظر گرفته شده است. استفاده از تابع فعال‌سازی غیرخطی در شبکه‌ی عصبی پرسپترون چندلایه، عموماً عملکرد بهتری را از خود نشان می‌دهد (Zhang & Suganthan, 2016)؛ از این رو از تابع فعال‌سازی  $\tanh(x)$  جهت نگاشت ورودی و متغیر پاسخ استفاده شده است. بنابراین تابع  $net^j(.)$  غیرخطی است. همین موضوع باعث می‌شود که مسئله‌ی ۷ تا ۱۰ به دلیل وجود تابع هدف ۸ و محدودیت ۹ یک مدل دو هدفه‌ی غیرخطی باشد.

در اینجا به منظور حل مسئله‌ی فروشنده از الگوریتم ژنتیک چند هدفه‌ی NSGAI استفاده شده است. از آنجایی که جواب‌های مدل NSGAI به شکل جبهه‌ی پارتو به دست

می آید، جهت انتخاب جواب بهینه از بین جواب‌های جبهه‌ی پارتو، اولویت به سود (تابع هدف اول) داده شده است. اندازه لایه پنهان برای شبکه‌ی عصبی (تعداد نورون‌های لایه‌ی پنهان) ۱۰ و تابع یادگیری شبکه‌ی عصبی، لونبرگ - مارکاد است. برای روش NSGAI، اندازه‌ی جمعیت ۲۰۰، نسبت تقاطع ۰/۸ و نسبت پارتو ۰/۳۵ در نظر گرفته شده است.

جدول ۵: پارامترهای شبیه‌سازی

شرح پارامتر	پارامتر	مقدار
تعداد تکرار شبیه‌سازی	$I$	۵۰
تعداد فروشندهگان	$n$	۶
آستانه بهبود	$\Delta_t$	۰/۰۵
	$\theta$	۲
پارامترهای تابع امتیازدهی ریسک‌گریز	$\alpha$	۰/۵
	$\beta$	۰/۵

منبع: مدل پیشنهادی تحقیق

## ۵. نتایج شبیه‌سازی

در این بخش نتایج فرایند شبیه‌سازی برای دو رویکرد باز (معلوم بودن تابع امتیازدهی خریدار برای فروشندهگان) و رویکرد نیمه‌بسته (تخمین تابع امتیازدهی خریدار توسط OASP و گزارش به فروشندهگان) ارائه شده است. جدول ۶ تا جدول ۸، یک مثال عددی که نشان‌دهنده‌ی یکی از تکرارهای شبیه‌سازی است را به ترتیب برای حالت باز با توابع امتیازدهی جمعی، ضربی، ریسک‌گریز نشان می‌دهد. در دور نخست، بردار پیشنهاد برای همه‌ی حالات یکسان می‌باشد. در هر جدول فروشنده‌ای که بالاترین امتیاز را کسب کرده است، با فونت ضخیم مشخص شده است.

در جدول ۶ که متعلق به نتایج حراج باز با تابع جمعی است، در دور اول فروشنده‌ی ششم، بالاترین امتیاز را کسب کرده است. در دور دوم فروشندهگان با حل مدل ۱۲ تا ۱۵ پیشنهادهای جدید خود را ارائه نموده‌اند و فروشنده‌ی پنجم بالاترین امتیاز را کسب کرده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد امتیاز تمامی فروشندهگان ارتقاء یافته است. از آنجایی که  $\Delta = ۰/۰۶۶$  بزرگ‌تر از حد آستانه  $\Delta_T = ۰.۰۵$  می‌باشد، حراج به دور بعدی می‌رود. در دور سوم میزان بهبود امتیاز  $\Delta = ۰.۰۰۴۶$  کمتر از حد آستانه است و بنابراین فرآیند حراج متوقف

ارائه چهارچوبی برای حراج معکوس آنلاین مبتنی بر ... (حجت طیران و مهدی غضنفری) ۵۱

می‌گردد. برنده‌ی حراج، دارنده‌ی بالاترین امتیاز در دور دوم یعنی فروشنده‌ی پنجم می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد سود فروشنده‌ی برنده یعنی فروشنده‌ی پنجم در دور دوم، نسبت به دور نخست، افزایش پیدا کرده است. بنابراین برای این فروشنده، امکان هم‌زمان بهبود پیشنهاد (افزایش امتیاز) و سود در دور دوم وجود داشته است.

در جدول ۷، که متعلق به حراج باز با تابع ضربی است، فروشنده‌ی ششم به‌عنوان برنده‌ی حراج در دور نخست مشخص شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد فروشنده‌ی پنجم و ششم قابلیت بهبود پیشنهاد را برای دور آتی نداشته‌اند ولی سایر فروشندگان پیشنهادهای خود را ارتقاء داده‌اند.

در جدول ۸، نتایج حراج باز با تابع امتیازدهی ریسک‌گریز ارائه شده است. مشابه با دو حالت امتیازدهی پیشین، در دور نخست بهترین پیشنهاد متعلق به فروشنده‌ی ششم است. در دور دوم، فروشنده‌ی پنجم بهترین پیشنهاد را ارائه نموده است. با توجه به اینکه  $0.0486 = \Delta$  بنابراین فروشندگان پیشنهادهای جدید خود را ارائه نموده‌اند. در دور سوم هیچ‌کدام از فروشندگان توانایی بهبود پیشنهاد خود را نداشته‌اند و  $\Delta = 0$ . بنابراین فروشنده‌ی برنده فروشنده‌ی پنجم می‌باشد.

جدول ۶: نتایج تکرار اول شبیه‌سازی برای حراج باز-امتیازدهی جمعی

سود فروشنده	امتیاز	دور سوم				سود فروشنده	امتیاز	دور دوم				سود فروشنده	امتیاز	دور اول				
		شاخصه						شاخصه						شاخصه				
		۴	۳	۲	۱			۴	۳	۲	۱			۴	۳	۲	۱	فروشنده
۶/۴۹۷	۲/۸۷۶	۸/۴۶۴	۱/۲۵۹	۰/۰۸۱	۹/۹۷۶	۶/۰۲۴	۲/۸۷۵	۷/۱۶۲	۲/۰۸۴	۰/۹۴۶	۹/۹۳۴	۲/۴۴۹	۲/۸۵۰	۲	۱	۵	۶	۱
۶/۴۸۸	۳/۰۲۷	۶/۰۴۵	۴/۶۷۱	۰/۱۶۶	۹/۹۵۲	۶/۲۹۶	۲/۹۵۰	۵/۰۲۸	۴/۶۴۶	۱/۳۶۷	۹/۹۷۳	۵/۱۱۷	۲/۹۵۰	۶	۱	۲	۸	۲
۶/۳۶۸	۳/۶۸۹	۸/۳۳۱	۰/۱۰۰	۵/۸۱۴	۹/۹۹۱	۶/۱۸۶	۳/۶۸۸	۷/۳۸۹	۰/۱۴۵	۷/۱۵۵	۹/۹۸۵	۲/۶۱۴	۳/۳۰۰	۳	۶	۲	۸	۳
۶/۶۲۹	۲/۷۵۰	۴/۷۳۵	۰/۳۱۹	۶/۲۵۰	۹/۹۹۹	۶/۶۳۹	۲/۷۵۱	۶/۷۹۰	۰/۶۱۰	۲/۷۹۰	۹/۹۸۵	۲/۸۲۹	۲/۷۵۰	۲	۲	۲	۵	۴
۶/۶۶۳	۳/۸۰۳	۸/۱۹۳	۱/۵۱۹	۴/۷۵۹	۹/۹۴۴	۶/۶۸۴	۳/۷۸۶	۶/۴۸۰	۱/۵۹۷	۷/۲۱۲	۱۰/۰۰۰	۵/۰۶۷	۳/۵۰۰	۵	۲	۵	۸	۵
۶/۲۸۱	۳/۵۵۰	۰/۲۳۸	۸/۲۲۲	۷/۰۹۵	۹/۹۸۶	۵/۹۳۹	۳/۵۵۰	۱/۱۹۵	۶/۸۱۱	۷/۴۳۶	۹/۹۹۸	۳/۷۰۸	۳/۵۵۰	۳	۶	۲	۷	۶
۰/۰۰۴۶		Δ				۰/۰۶۶		Δ				-		Δ				

منبع: یافته‌های پژوهش



ارائه چهارچوبی برای حراج معکوس آنلاین مبتنی بر ... (حجت طبران و مهدی غضنفری) ۵۳

جدول ۷: نتایج دور اول تکرار اول شبیه سازی برای حراج باز-امتیازدهی ضربی

سود فروشنده	امتیاز	دور دوم				سود فروشنده	امتیاز	دور اول				فروشنده
		شاخصه						شاخصه				
		۴	۳	۲	۱			۴	۳	۲	۱	
۲/۶۸۲	۷/۰۳۵	۹/۸۱۶	۰/۰۱۴	۰/۰۰۵	۵/۸۸۹	۲/۴۴۹	۷/۰۰	۲	۱	۵	۶	۱
۳/۵۶۸	۶/۴۹۲	۹/۱۷۳	۰/۰۲۸	۰/۰۶۲	۶/۱۶۴	۵/۱۱۷	۶۳۵	۶	۱	۲	۸	۲
۱/۶۵۳	۹/۰۰۴	۹/۹۸۰	۰/۰۰۳	۰/۰۱۱	۴/۰۱۱	۲/۶۱۴	۸/۹۸	۳	۶	۲	۸	۳
۲/۹۵۷	۶/۵۷۰	۹/۸۶۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۶/۳۶۴	۲/۸۲۹	۶/۵۶	۲	۲	۲	۵	۴
۵/۰۶۷	۱۰/۲۵	۵/۰۰۰	۲/۰۰۰	۵/۰۰۰	۸/۰۰۰	۵/۰۶۷	۱۰/۲۵	۵	۲	۵	۸	۵
۳/۷۰۸	۱۰/۶۴	۳/۰۰۰	۶/۰۰۰	۲/۰۰۰	۷/۰۰۰	۳/۷۰۸	۱۰/۶۴	۳	۶	۲	۷	۶
		Δ				-		Δ				

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۸: نتایج دور اول تکرار اول شبیه سازی برای حراج باز - امتیازدهی ریسک گریز

سود فروشنده	امتیاز	دور سوم				سود فروشنده	امتیاز	دور دوم				سود فروشنده	امتیاز	دور اول				
		شاخصه						شاخصه						شاخصه				
		۴	۳	۲	۱			۴	۳	۲	۱			۴	۳	۲	۱	فروشنده
۷/۳۰۱	۳/۰۰۷	۸/۰۲۷	۰/۰۴۴	۰/۰۹۵	۹/۹۸۴	۷/۳۰۱	۳/۰۰۷	۸/۰۲۷	۰/۰۴۴	۰/۰۹۵	۹/۹۸۴	۲/۴۴۹	۲/۵۰۷	۲	۱	۵	۶	۱
۷/۱۷۶	۳/۸۴۱	۷/۹۴۱	۰/۵۵۹	۰/۹۴۴	۹/۹۹۴	۷/۱۷۶	۳/۸۴۱	۷/۹۴۱	۰/۵۵۹	۰/۹۴۴	۹/۹۹۴	۵/۱۱۷	۲/۳۴۱	۶	۱	۲	۸	۲
۶/۸۰۹	۳/۹۶۴	۳/۷۲۷	۰/۰۰۷	۸/۳۵۱	۹/۹۷۶	۶/۸۰۹	۳/۹۶۴	۳/۷۲۷	۰/۰۰۷	۸/۳۵۱	۹/۹۷۶	۲/۶۱۴	۲/۴۶۴	۳	۶	۲	۸	۳
۶/۲۴۹	۲/۵۶۸	۳/۵۴۶	۰/۲۱۶	۹/۴۳۴	۹/۹۶۳	۶/۳۵۷	۲/۵۶۸	۴/۱۰۱	۰/۰۴۰	۸/۷۰۹	۹/۹۹۳	۲/۸۲۹	۲/۵۶۸	۲	۲	۲	۵	۴
۷/۸۷۴	۴/۰۳۶	۴/۷۴۱	۰/۰۰۱	۸/۰۴۰	۱۰/۰۰۰	۷/۸۷۴	۴/۰۳۶	۴/۷۴۱	۰/۰۰۱	۸/۰۴۰	۱۰/۰۰۰	۵/۰۶۷	۲/۵۳۶	۵	۲	۵	۸	۵
۵/۸۱۵	۳/۷۱۴	۰/۷۹۱	۹/۹۸۸	۱/۴۸۲	۹/۹۹۹	۷/۳۱۱	۳/۷۱۴	۰/۷۹۱	۹/۹۸۸	۱/۴۸۲	۹/۹۹۹	۳/۷۰۸	۲/۷۱۴	۳	۶	۲	۷	۶
۰		Δ				۰/۴۸۶		Δ				-		Δ				

منبع: یافته‌های پژوهش

پیش از اجرای شبیه‌سازی حراج نیمه‌بسته، با فرض اینکه فروشنده دارای تاریخچه‌ی استفاده از پلتفرم حراج برای یک کالای مشخص و با شاخصه‌های مشخص می‌باشد، برای هر یک از حالات تابع امتیازدهی یک شبکه‌ی پرسپترون چندلایه با ۱۰۰ پیشنهاد تصادفی آموزش داده شده است (۱۰۰ پیشنهاد به همراه امتیاز پیشنهاد برای هر یک از حالات امتیازدهی). در هر دور شبکه‌ی آموزش دیده، اطلاعات جدید (پیشنهاد‌های جدید و امتیاز جدید) به مجموعه داده‌های پیشین افزوده می‌گردد و شبکه مجدداً تحت آموزش قرار می‌گیرد.

در جدول ۹ تا جدول ۱۱، نتایج یک تکرار شبیه‌سازی برای حراج نیمه‌بسته ارائه شده است. در جدول ۹ نتایج حراج نیمه‌بسته با تابع جمعی ارائه شده است. مشابه با حالت حراج باز، در اینجا نیز فروشنده‌ی ششم در دور نخست بالاترین امتیاز را کسب کرده است. در دور دوم نیز بالاترین امتیاز متعلق به فروشنده‌ی ششم می‌باشد اما در دور سوم، فروشنده‌ی پنجم بالاترین امتیاز را کسب کرده است و از آنجاییکه بهبود امتیاز در دور بعد کمتر از حد آستانه می‌باشد، فروشنده‌ی پنجم به عنوان برنده‌ی نهایی تعیین گردیده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، با مقایسه‌ی میان دو حراج با تابع امتیازدهی جمعی، امتیاز نهایی فروشنده‌ی برنده‌ی حراج نیمه‌بسته، بیشتر و سود فروشنده‌ی برنده کمتر از حالت حراج باز بوده است. در جدول ۱۰ نتایج حراج نیمه‌بسته‌ی ضربی ارائه شده است. مشابه با حراج باز فروشنده‌ی ششم برنده‌ی حراج می‌باشد. در دور سوم، هیچکدام از فروشندگان توانایی بهبود پیشنهاد را نداشته‌اند و بنابراین در دور دوم برنده‌ی حراج مشخص شده است. در اینجا نیز امتیاز نهایی فروشنده‌ی برنده‌ی حراج نیمه‌بسته، بیشتر و سود فروشنده‌ی برنده کمتر از حالت حراج باز بوده است. در جدول ۱۱ نتایج حراج نیمه‌بسته با تابع امتیازدهی ریسک‌گریز ارائه شده است. پس از دور نخست، فروشندگان امکان بهبود پیشنهاد خود را نداشته‌اند و بنابراین فروشنده‌ی ششم که دارای بالاترین امتیاز در دور نخست بوده است، به عنوان برنده‌ی حراج تعیین شده است. بر خلاف دو حالت امتیازدهی جمعی و ضربی در اینجا امتیاز فروشنده‌ی برنده در حراج نیمه‌بسته بیشتر و سود فروشنده‌ی برنده کمتر از حراج باز می‌باشد.

جدول ۹: نتایج تکرار اول شبیه سازی برای حراج نیمه بسته - امتیازدهی جمعی

سود فروشنده	امتیاز	دور چهارم				سود فروشنده	امتیاز	دور سوم				سود فروشنده	امتیاز	دور دوم				سود فروشنده	امتیاز	دور اول				
		شاخصه						شاخصه						شاخصه						شاخصه				
		۴	۳	۲	۱			۴	۳	۲	۱			۴	۳	۲	۱			۴	۳	۲	۱	۴
۱/۵۱۶	۷/۸۵۱	۹/۹۸۹	۸/۲۴۵	۱/۴۹۳	۹/۹۸۰	۱/۵۱۶	۷/۸۵۱	۹/۹۸۹	۸/۲۴۵	۱/۴۹۳	۹/۹۸۰	۷/۵۵۴	۵/۳۵۸	۸/۶۰۴	۰/۸۴۶	۰/۳۲۷	۱/۰۰۰	۲/۴۴۹	۲/۸۵۲	۲	۱	۵	۶	۱
۳/۵۸۸	۷/۸۳۳	۹/۵۱۴	۹/۴۷۵	۰/۶۹۸	۱/۰۰۰	۳/۵۸۸	۷/۸۳۳	۹/۵۱۴	۹/۴۷۵	۰/۶۹۸	۱/۰۰۰	۷/۱۱۲	۵/۳۵۶	۵/۴۴۵	۳/۰۵۱	۲/۵۳۳	۹/۸۱۵	۵/۱۱۷	۲/۹۵۳	۶	۱	۲	۸	۲
۶/۶۴۲	۵/۷۸۵	۷/۵۴۴	۰/۳۹۹	۴/۶۵۲	۹/۹۶۸	۶/۶۴۲	۵/۷۸۵	۷/۵۴۴	۰/۳۹۹	۴/۶۵۲	۹/۹۶۸	۶/۶۴۲	۵/۷۸۵	۷/۵۴۴	۰/۳۹۹	۴/۶۵۲	۹/۹۶۸	۲/۶۱۴	۳/۳۰۱	۳	۶	۲	۸	۳
۲/۳۷۲	۷/۷۴۵	۹/۵۵۶	۱/۸۸۹	۹/۵۳۰	۱/۰۰۰	۲/۳۷۲	۷/۷۴۵	۹/۵۵۶	۱/۸۸۹	۹/۵۳۰	۱/۰۰۰	۶/۸۱۶	۵/۲۴۶	۸/۷۵۵	۰/۰۱۲	۰/۵۹۲	۹/۹۹۳	۲/۸۲۹	۲/۷۵۴	۲	۲	۲	۵	۴
۳/۵۸۱	۸/۵۰۸	۹/۷۶۹	۵/۳۰۷	۸/۷۶۰	۹/۹۹۵	۳/۵۸۱	۸/۵۰۸	۹/۷۶۹	۵/۳۰۷	۸/۷۶۰	۹/۹۹۵	۷/۴۹۸	۶/۰۱۰	۶/۷۳۱	۰/۰۷۸	۷/۳۷۰	۹/۹۹۱	۵/۰۶۷	۳/۵۰۲	۵	۲	۵	۸	۵
۱/۵۱۶	۲/۵۱۵	۰/۰۲۶	۰/۰۲۸	۰/۰۴۱	۹/۹۶۶	۶/۵۸۴	۶/۰۴۸	۳/۷۱۳	۹/۱۹۱	۰/۶۸۴	۹/۹۹۶	۶/۵۸۴	۶/۰۴۸	۳/۷۱۳	۹/۱۹۱	۰/۶۸۴	۹/۹۹۶	۲/۴۴۹	۳/۵۵۱	۳	۶	۲	۷	۶
0		Δ				۰/۴۰۶		Δ				۰/۷۰۳		Δ				-		Δ				

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۱۰: نتایج تکرار اول شبیه سازی برای حراج نیمه بسته - امتیازدهی ضریبی

سود فروشنده	امتیاز	دور چهارم				سود فروشنده	امتیاز	دور سوم				سود فروشنده	امتیاز	دور دوم				سود فروشنده	امتیاز	دور اول				
		شاخصه						شاخصه						شاخصه						شاخصه				
		۴	۳	۲	۱			۴	۳	۲	۱			۴	۳	۲	۱			۴	۳	۲	۱	۴
۴/۷۴۴	۲۵/۹۶۵	۶/۲۲۲	۱/۵۲۴	۴/۸۲۲	۹/۸۷۰	۴/۷۴۴	۲۵/۹۶۵	۶/۲۲۲	۱/۵۲۴	۴/۸۲۲	۹/۸۷۰	۴/۷۴۴	۲۵/۹۶۵	۶/۲۲۲	۱/۵۲۴	۴/۸۲۲	۹/۸۷۰	۲/۴۴۹	۷/۰۰۰	۲	۱	۵	۶	۱
۲/۰۱۹	۸/۷۸۴	۹/۰۱۷	۸/۲۲۲	۵/۸۲۷	۹/۹۸۸	۲/۰۱۹	۸/۷۸۴	۹/۰۱۷	۸/۲۲۲	۵/۸۲۷	۹/۹۸۸	۶/۱۴۹	۲۴/۹۸۱	۵/۵۹۰	۴/۵۴۴	۱/۴۹۲	۹/۹۹۹	۵/۱۱۷	۶/۳۵۰	۶	۱	۲	۸	۲

ارائه چهارچوبی برای حراج معکوس آنلاین مبتنی بر ... (حجت طبران و مهدی غضنفری) ۵۷

۵/۵۵۵	۳۴/۲۶۷	۸/۸۲۵	۰/۸۹۳	۶/۳۱۰	۹/۹۷۷	۵/۵۵۵	۳۴/۲۶۷	۸/۸۲۵	۰/۸۹۳	۶/۳۱۰	۹/۹۷۷	۵/۵۵۵	۳۴/۲۶۷	۸/۸۲۵	۰/۸۹۳	۶/۳۱۰	۹/۹۷۷	۲/۶۱۴	۸/۹۷۵	۳	۶	۲	۸	۳
۱/۹۱۳	۸۵/۲۴۹	۸/۵۰۶	۵/۷۴۹	۹/۲۴۵	۹/۹۸۸	۱/۹۱۳	۸۵/۲۴۹	۸/۵۰۶	۵/۷۴۹	۹/۲۴۵	۹/۹۸۸	۵/۹۶۹	۲۵/۴۶۸	۴/۲۰۸	۲/۶۱۶	۵/۱۱۳	۹/۹۸۹	۲/۸۲۹	۶/۵۶۰	۲	۲	۲	۵	۴
۱/۶۶۸	۱۰۷/۱۴۴	۹/۹۹۶	۶/۸۹۳	۹/۹۹۹	۹/۲۴۲	۱/۶۶۸	۱۰۷/۱۴۴	۹/۹۹۶	۶/۸۹۳	۹/۹۹۹	۹/۲۴۲	۶/۲۷۹	۳۸/۴۶۲	۶/۱۲۰	۲/۳۲۲	۷/۵۷۹	۹/۹۹۹	۵/۰۶۷	۱۰/۲۵۰	۵	۲	۵	۸	۵
۰/۸۷۷	۱۲۵/۱۶۸	۸/۲۵۴	۹/۹۱۳	۹/۹۸۰	۹/۹۳۲	۰/۸۷۷	۱۲۵/۱۶۸	۸/۲۵۴	۹/۹۱۳	۹/۹۸۰	۹/۹۳۲	۵/۴۰۵	۳۸/۷۹۹	۲/۷۲۶	۷/۷۵۶	۵/۶۸۳	۹/۹۴۷	۳/۷۰۸	۱۰/۳۳۸	۳	۶	۲	۷	۶
0	Δ				۲/۲۲۶		Δ				۲/۶۴۷		Δ				-		Δ					

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۱۱: نتایج تکرار اول شبیه سازی برای حراج نیمه بسته - امتیازدهی ریسک گریز

سود فروشنده	امتیاز	دور دوم				سود فروشنده	امتیاز	دور اول				
		شاخصه						شاخصه				
		۴	۳	۲	۱			۴	۳	۲	۱	
۲/۴۴۹	۲/۵۰۷	۲/۰۰	۱/۰۰	۵/۰۰	۶/۰۰	۲/۴۴۹	۲/۵۰۷	۲	۱	۵	۶	۱
۵/۱۱۷	۲/۳۴۱	۶/۰۰	۱/۰۰	۲/۰۰	۸/۰۰	۵/۱۱۷	۲/۳۴۱	۶	۱	۲	۸	۲
۲/۶۱۴	۲/۴۶۴	۳/۰۰	۶/۰۰	۲/۰۰	۸/۰۰	۲/۶۱۴	۲/۴۶۴	۳	۶	۲	۸	۳
۲/۸۲۹	۲/۵۶۸	۲/۰۰	۲/۰۰	۲/۰۰	۵/۰۰	۲/۸۲۹	۲/۵۶۸	۲	۲	۲	۵	۴
۵/۰۶۷	۲/۵۳۶	۵/۰۰	۲/۰۰	۵/۰۰	۸/۰۰	۵/۰۶۷	۲/۵۳۶	۵	۲	۵	۸	۵
۳/۷۰۸	۲/۷۱۴	۳/۰۰	۶/۰۰	۲/۰۰	۷/۰۰	۳/۷۰۸	۲/۷۱۴	۳	۶	۲	۷	۶
.		Δ				-		Δ				

منبع: یافته‌های پژوهش

پس از پایان ۵۰ تکرار شبیه‌سازی، میانگین امتیاز فروشندهی برنده، میانگین سود فروشندهی برنده و میانگین تعداد دور حراج در دو حالت حراج باز و نیمه‌بسته و همچنین سه حالت توابع امتیازدهی جمعی، ضربی و ریسک‌گریز مورد مقایسه قرار گرفته است. بدین منظور از آزمون‌های نا پارامتری یو من - ویتنی (Mann-Whitney U test) یا جمع رتبه‌ای ویلکاکسون (Wilcoxon rank-sum test) برای مقایسه دو حالت حراج و از آزمون کروسکال والیس (Kruskal-Wallis test) برای مقایسه سه تابع امتیازدهی استفاده شده است. این دو آزمون معادل آزمون‌های زوجی t و آنالیز واریانس یک‌طرفه در شرایط پارامتری می‌باشند و مبتنی بر میانه‌های دو جمعیت مستقل تعریف می‌گردند. فرض صفر در هر دو آزمون برابری میانه‌های دو جامعه (در آزمون یو من - ویتنی دو جامعه و در آزمون کروسکال - والیس، دو یا چند جامعه) است. فرض یک در آزمون کروسکال والیس، نابرابری میانه‌ها میان حداقل یک زوج از جوامع مورد بررسی می‌باشد. برای نمونه‌های بزرگ آماره‌ی آزمون یو من - ویتنی از توزیع نرمال و آماره‌ی آزمون کروسکال - والیس از توزیع کای دو با  $N - 1$  درجه‌ی آزادی پیروی می‌نماید به طوری که N تعداد نمونه‌های تحت مقایسه می‌باشد. جدول ۱۲ نتایج آزمون یو من - ویتنی مقایسه‌ی دو شیوه‌ی حراج را در هر یک از توابع امتیازدهی نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌گردد، در سطح اطمینان ۹۵٪ تفاوت معنادار میان دو نوع حراج باز و نیمه‌بسته تنها در نوع تابع امتیازدهی ریسک گریز و در معیارهای سود برنده‌ی حراج و تعداد دور حراج، وجود دارد.

شکل ۳ نمودارهای جعبه‌ای را برای مقایسه‌ی میان دو نوع حراج در توابع امتیازدهی مختلف نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌گردد در امتیازدهی ریسک‌گریز، میزان میان‌ه‌ی سود برنده در حراج نیمه‌بسته کمتر از حراج باز می‌باشد و با توجه به نتیجه‌ی آزمون این تفاوت معنادار است. از سوی دیگر میانه تعداد دور حراج در حراج نیمه‌بسته به طور معناداری بیشتر از حراج باز، با در نظر گرفتن تابع امتیازدهی ریسک‌گریز می‌باشد.

جدول ۱۲: نتایج آزمون یو-من‌ویتنی جهت مقایسه حراج باز و حراج نیمه‌بسته در هر یک از توابع امتیازدهی

نوع امتیازدهی	معیار	آماره آزمون یو من - ویتنی (U)	p-value	نتیجه آزمون
جمعی	سود برنده حراج	۱/۶۴۷۷	۰/۰۹۹۴	تفاوت معنادار وجود ندارد
	امتیاز برنده حراج	۰/۲۶۶۵	۰/۷۸۹۹	تفاوت معنادار وجود ندارد
	تعداد دور حراج	۰/۴۱۷۵	۰/۶۷۶۳	تفاوت معنادار وجود ندارد
ضربی	سود برنده حراج	-۰/۷۲۸۱	۰/۴۶۶۶	تفاوت معنادار وجود ندارد
	امتیاز برنده حراج	-۰/۹۵۰۶	۰/۳۴۱۸	تفاوت معنادار وجود ندارد
	تعداد دور حراج	-۰/۶۸۶۸	۰/۴۹۲۲	تفاوت معنادار وجود ندارد
ریسک‌گریز	سود برنده حراج	-۳/۴۳۹۱	۰	تفاوت معنادار وجود دارد
	امتیاز برنده حراج	-۱/۰۳۳۸	۰/۳۰۱۲	تفاوت معنادار وجود ندارد
	تعداد دور حراج	-۳/۱۱۷۱	۰/۰۰۱۸	تفاوت معنادار وجود دارد

#### منبع: یافته‌های پژوهش

در جدول ۱۳ نتایج آزمون کروسکال-والیس برای مقایسه سه تابع امتیازدهی در هر یک از دو نوع حراج باز و نیمه‌بسته ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، در سطح اطمینان ۹۵٪ میان سود برنده‌ی حراج در سه روش امتیازدهی، چه در حراج باز و چه در حراج نیمه‌بسته، تفاوت معناداری وجود دارد. البته این تمایز در حراج نیمه‌بسته قوی نمی‌باشد (مقدار p-value نزدیک به ۰/۰۵). در شکل ۴ نمودارهای جعبه‌ای جهت مقایسه میان توابع امتیازدهی مختلف برای هر یک از انواع حراج ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، در حراج باز اختلاف معناداری میان میانه‌ی معیار سود برنده‌ی حراج در سه تابع امتیازدهی مشاهده می‌گردد. بالاترین میانه‌ی سود متعلق به تابع امتیازدهی ضربی (۹/۷۷)،

سپس تابع امتیازدهی جمعی (۶/۵۰۳) و در نهایت تابع امتیازدهی ریسک‌گریز می‌باشد. اختلاف میان سود برنده‌ی حراج در دو تابع امتیازدهی جمعی و ریسک‌گریز (۵/۱۲۲) کمتر از اختلاف سود آنها با تابع امتیازدهی ریسک‌گریز می‌باشد. در حراج نیمه‌بسته نیز شرایط مشابهی با حراج باز برقرار می‌باشد. مطابق با آزمون کروسکال والیس در جدول ۱۳، اختلاف میان میانه‌های سود برنده‌ی حراج برای توابع امتیازدهی مختلف، معناداری اندکی برخوردار می‌باشد.

در شکل ۴ نمودار جعبه‌ای برای نمایش این اختلاف ارائه شده است. در این نمودار بالاترین میانه‌ی سود مشابه با حراج باز، متعلق به تابع امتیازدهی ضربی (۷/۷۵۰)، سپس تابع امتیازدهی ریسک‌گریز (۴/۳۱۸۱) و در نهایت تابع امتیازدهی جمعی (۴/۲۳۳۰) می‌باشد.

جدول ۱۳: نتایج آزمون کروسکال- والیس جهت مقایسه توابع امتیازدهی ضربی، جمعی و ریسک‌گریز در دو نوع حراج باز و نیمه‌بسته

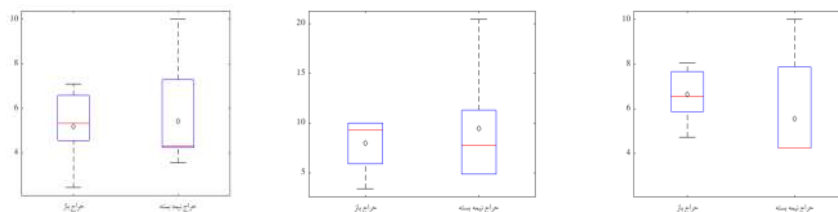
نوع حراج	معیار	آماره آزمون کروسکال - والیس	p-value	نتیجه آزمون
باز	سود برنده حراج	۳۱/۷۴	۰	تفاوت معنادار وجود دارد
	تعداد دور حراج	۱۴/۳۳	۰/۰۰۰۸	تفاوت معنادار وجود ندارد
نیمه‌بسته	سود برنده حراج	۸/۳۲	۰/۰۱۵۶	تفاوت معنادار وجود دارد
	تعداد دور حراج	۲/۵	۰/۲۸۶۶	تفاوت معنادار وجود ندارد

#### منبع: یافته‌های پژوهش

عدم وجود تفاوت معنادار در معیارهای سود برنده‌ی حراج، امتیاز برنده‌ی حراج و تعداد دور حراج در دو نوع حراج برای توابع امتیازدهی جمعی و ضربی می‌تواند نشان‌دهنده‌ی برآزش موفق شبکه‌ی عصبی مصنوعی برای این دو نوع تابع باشد. از این‌رو در حراج نیمه‌بسته علاوه بر عدم افشای تابع اصلی امتیازدهی خریدار برای فروشنده و OASP، تقریب مناسبی از این تابع توسط OASP، جهت بهبود پیشنهادهای فروشندگان در دورهای حراج ارائه شده است. از سوی دیگر استفاده از تابع امتیازدهی ضربی، سود بالاتری را عاید فروشنده‌ی برنده نموده است. این موضوع برای هر دو نوع حراج باز و نیمه‌بسته صادق می‌باشد.



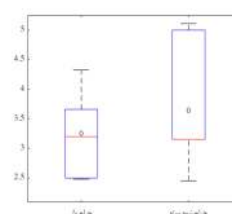
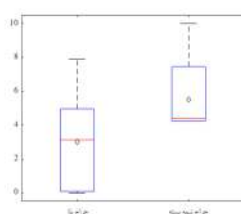
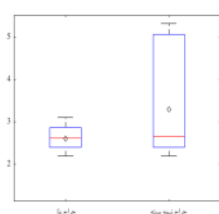
ارائه چهارچوبی برای حراج معکوس آنلاین مبتنی بر ... (حجت طبران و مهدی غضنفری) ۶۱



امتیازدهی ریسک‌گریز - معیار سود برنده حراج

امتیازدهی ضریبی - معیار سود برنده حراج

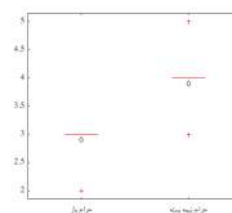
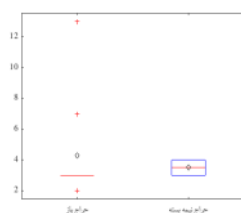
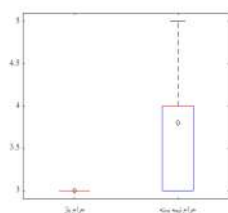
امتیازدهی جمعی - معیار سود برنده حراج



امتیازدهی ریسک‌گریز - معیار امتیاز برنده حراج

امتیازدهی ضریبی - معیار امتیاز برنده حراج

امتیازدهی جمعی - معیار امتیاز برنده حراج

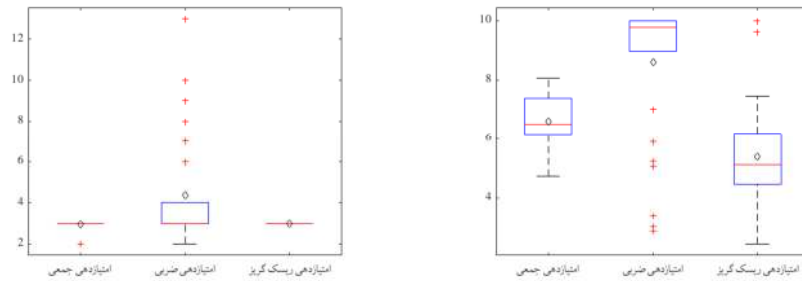


امتیازدهی ریسک‌گریز - معیار تعداد دور حراج

امتیازدهی ضریبی - معیار تعداد دور حراج

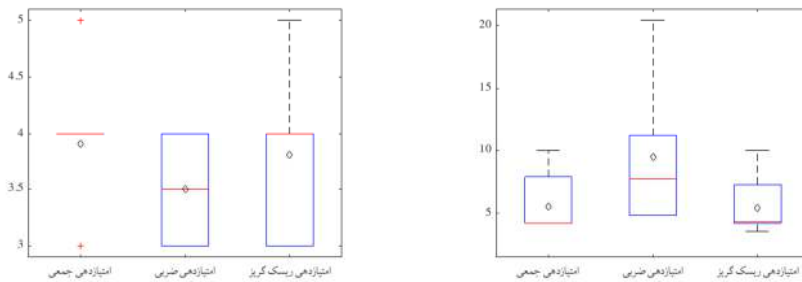
امتیازدهی جمعی - معیار تعداد دور حراج

شکل ۳: نمودارهای جعبه‌ای برای مقایسه میان معیارهای سود برنده ی حراج، امتیاز برنده حراج و تعداد دور حراج برای دو نوع حراج باز و نیمه بسته در روش های امتیازدهی مختلف



حراج باز - معیار تعداد دور حراج

حراج باز - معیار سود برنده حراج



حراج نیمه‌بسته - معیار دور

حراج نیمه‌بسته - معیار سود برنده حراج

شکل ۴: نمودارهای جعبه‌ای برای مقایسه‌ی میان معیارهای سود برنده‌ی حراج و تعداد دور حراج برای توابع امتیازدهی مختلف در دو نوع حراج باز و نیمه‌بسته

## ۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله، یک چهارچوب حراج آنلاین معکوس چند شاخصی چند دوره‌ای ارائه شده است. مزیت روش پیشنهادی نسبت به روش‌های رقیب ارائه‌ی یک مکانیسم افشای اطلاعات خریدار برای فروشندگان می‌باشد. فروشندگان با استفاده از این اطلاعات که در هر دور حراج در اختیار ایشان قرار می‌گیرد، پیشنهادهای خود را بهبود می‌بخشند. این اطلاعات شامل تخمینی از تابع امتیازدهی خریدار می‌باشد که توسط یک واسط فراهم‌کننده‌ی حراج آنلاین و با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی صورت می‌پذیرد.

بعلاوه در مدل پیشنهادی این تحقیق، یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه جهت تعیین بهترین پیشنهاد فروشندگان ارائه شده است.

به منظور ارزیابی و اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، فرایند حراج، با در نظر گرفتن سه تابع امتیازدهی جمعی، ضربی و ریسک‌گریز شبیه‌سازی شده است و در ۱۰۰ تکرار با بردارهای پیشنهاد اولیه مختلف، نتایج پیشنهادها، امتیاز فروشندگان، سود فروشندگان و تعداد دور حراج به دست آمده است. بعلاوه فرایند شبیه‌سازی برای یک حراج باز مشابه، در حالی که فروشندگان از تابع امتیازدهی خریدار آگاهی کامل دارند، مدل‌سازی شده است. سه معیار سود فروشنده‌ی برنده، امتیاز فروشنده‌ی برنده و تعداد دور حراج جهت ارزیابی مدل‌های حراج و توابع امتیازدهی در نظر گرفته شده است. از دو آزمون نا پارامتری یو - من ویتنی جهت مقایسه‌های زوجی میان حراج باز و نیمه‌بسته و از آزمون کروسکال - والیس جهت مقایسه‌ی میان توابع امتیازدهی استفاده شده است. نتایج مقایسه‌ی میان دو حراج باز و نیمه‌بسته نشان داده است که میان سود فروشنده‌ی برنده و تعداد دور حراج در حراج نیمه‌بسته و حراج باز، با در نظر گرفتن تابع امتیازدهی ریسک‌گریز اختلاف معناداری وجود دارد و میان‌ه‌ی سود فروشنده‌ی برنده در حراج باز بیشتر از حراج بسته و میان‌ه‌ی تعداد دور حراج کمتر می‌باشد. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده‌ی برآزش موفق تابع امتیازدهی جمعی و ضربی باشد؛ بنابراین با استفاده از رویکرد نیمه‌بسته و با در نظر گرفتن توابع امتیازدهی جمعی و ضربی علاوه بر عدم افشای تابع امتیازدهی خریدار برای فروشنده و OASP، با تخمین تابع امتیازدهی توسط OASP و ارائه به فروشندگان، پیشنهاد‌های فروشندگان در دوره‌های حراج در فضای جواب مسئله بهینه‌شده است. همچنین نتایج آزمون مقایسه‌ی میان سه تابع امتیازدهی نشان می‌دهد که هم در حراج باز و هم در حراج نیمه‌بسته، تابع امتیازدهی ضربی، سود بیشتری را برای برنده‌ی حراج به همراه داشته است؛ بنابراین استفاده از این سبک از امتیازدهی، می‌تواند تمایل فروشندگان را جهت شرکت مستمر در فرایند حراج معکوس آنلاین افزایش دهد.

اصلی‌ترین محدودیت این تحقیق عدم وجود اطلاعات واقعی جهت مقایسه و تعیین میزان صرفه‌جویی در فرایند انتخاب تأمین‌کننده می‌باشد، به همین جهت از شبیه‌سازی جهت ارزیابی مدل استفاده شده است. چهارچوب پیشنهادی این تحقیق می‌تواند از جهات مختلفی توسعه یابد. مدل این مقاله می‌تواند در فرآیندهای حراج با یک شاخصه، یا با چند آیتم از یک کالا/خدمات مشخص نیز استفاده و مورد بررسی قرار گیرد. همچنین می‌توان از

روش‌های مختلف برازش منحنی نظیر رگرسیون ساده و رگرسیون بردار پشتیبان جهت برازش تابع امتیازدهی و ارزیابی عملکرد آن‌ها استفاده نمود. ارائه‌ی شیوه‌های دیگر امتیازدهی توسط خریدار با استفاده از تئوری تصمیم‌گیری چند شاخصه در مدل‌سازی مسئله‌ی فروشنده نیز می‌تواند در تحقیقات آتی مدنظر قرار گیرد.

### کتاب‌نامه

- Beil, D. R., & Wein, L. M. (2003). An inverse-optimization-based auction mechanism to support a multiattribute RFQ process. *Management science*, 49(11), 1529-1545.
- Che, Y.-K. (1993). Design competition through multidimensional auctions. *The RAND Journal of Economics*, 668-680.
- Chen-Ritzo, C.-H., Harrison, T. P., Kwasnica, A. M., & Thomas, D. J. (2005). Better, faster, cheaper: An experimental analysis of a multiattribute reverse auction mechanism with restricted information feedback. *Management science*, 51(12), 1753-1762.
- Cheng, C.-B. (2011). Reverse auction with buyer-supplier negotiation using bi-level distributed programming. *European Journal of Operational Research*, 211(3), 601-611.
- Dráb, R., Štofá, T., & Delina, R. (2020). Analysis of the efficiency of electronic reverse auction settings: big data evidence. *Electronic Commerce Research*, 1-24.
- Greenwald, A., Kannan, K., & Krishnan, R. (2010). On evaluating information revelation policies in procurement auctions: A Markov decision process approach. *Information Systems Research*, 21(1), 15-36.
- Gupta, A., Parente, S. T., & Sanyal, P. (2012). Competitive bidding for health insurance contracts: lessons from the online HMO auctions. *International journal of health care finance and economics*, 12(4), 303-322.
- Hu, Y., Wang, Y., Li, Y., & Tong, X. (2018). An incentive mechanism in mobile crowdsourcing based on multi-attribute reverse auctions. *Sensors*, 18(10), 3453.
- Huang, M., Qian, X., Fang, S.-C., & Wang, X. (2016). Winner determination for risk aversion buyers in multi-attribute reverse auction. *Omega*, 59, 184-200.
- Jap, S. D. (2007). The impact of online reverse auction design on buyer-supplier relationships. *Journal of Marketing*, 71(1), 146-159.
- Kahneman, D., & Tversky, A. (2013). Prospect theory: An analysis of decision under risk *Handbook of the fundamentals of financial decision making: Part I* (pp. 99-127): World Scientific.
- Karakaya, G., & Köksalan, M. (2011). An interactive approach for multi-attribute auctions. *Decision Support Systems*, 51(2), 299-306.
- Karakaya, G., & Köksalan, M. (2016). An interactive approach for Bi-attribute multi-item auctions. *Annals of Operations Research*, 245(1-2), 97-119.
- Liu, X., Zhang, Z., Qi, W., & Wang, D. (2020). An Evolutionary Game Study of the Behavioral Management of Bid Evaluations in Reserve Auctions. *IEEE Access*, 8, 95390-95402.

- Mansouri, B., & Hassini, E. (2015). A Lagrangian approach to the winner determination problem in iterative combinatorial reverse auctions. *European Journal of Operational Research*, 244(2), 565-575.
- Mouhoub, M., & Ghavamifar, F. (2016). Managing Constraints and Preferences for Winner Determination in Multi-attribute Reverse Auctions. Paper presented at the Machine Learning and Applications (ICMLA), 2016 15th IEEE International Conference on.
- Narasimhan, R., Talluri, S., & Mahapatra, S. (2008). Effective response to RFQs and supplier development: A supplier's perspective. *International Journal of Production Economics*, 115(2), 461-470.
- Parkes, D. C., & Kalagnanam, J. (2005). Models for iterative multiattribute procurement auctions. *Management science*, 51(3), 435-451.
- Peng, L., & Calvi, R. (2012). Why don't buyers like electronic reverse auctions? Some insights from a French study. *International Journal of Procurement Management*, 5(3), 352-367.
- Perrone, G., Roma, P., & Nigro, G. L. (2010). Designing multi-attribute auctions for engineering services procurement in new product development in the automotive context. *International Journal of Production Economics*, 124(1), 20-31.
- Pham, L., Teich, J., Wallenius, H., & Wallenius, J. (2015). Multi-attribute online reverse auctions: Recent research trends. *European Journal of Operational Research*, 242(1), 1-9.
- Qian, X., Fang, S.-C., Huang, M., & Wang, X. (2019). Winner determination of loss-averse buyers with incomplete information in multiattribute reverse auctions for clean energy device procurement. *Energy*, 177, 276-292.
- Ray, A. K., Jenamani, M., & Mohapatra, P. K. (2011). An efficient reverse auction mechanism for limited supplier base. *Electronic Commerce Research and Applications*, 10(2), 170-182.
- Saroop, A., Sehgal, S. K., & Ravikumar, K. (2007). A multi-attribute auction format for procurement with limited disclosure of buyer's preference structure *Decision Support for Global Enterprises* (pp. 257-267): Springer.
- Tassabehji, R., Taylor, W., Beach, R., & Wood, A. (2006). Reverse e-auctions and supplier-buyer relationships: an exploratory study. *International Journal of Operations & Production Management*, 26(2), 166-184.
- Teich, J. E., Wallenius, H., Wallenius, J., & Koppius, O. R. (2004). Emerging multiple issue e-auctions. *European Journal of Operational Research*, 159(1), 1-16.
- Teich, J. E., Wallenius, H., Wallenius, J., & Zaitsev, A. (2006). A multi-attribute e-auction mechanism for procurement: Theoretical foundations. *European Journal of Operational Research*, 175(1), 90-100.
- Wang, S., Qu, S., Goh, M., Wahab, M., & Zhou, H. (2019). Integrated Multi-stage Decision-Making for Winner Determination Problem in Online Multi-attribute Reverse Auctions Under Uncertainty. *International Journal of Fuzzy Systems*, 21(8), 2354-2372.
- Xu, S. X., & Huang, G. Q. (2017). Efficient Multi-Attribute Multi-Unit Auctions for B2B E-Commerce Logistics. *Production and Operations Management*, 26(2), 292-304.

- Yang, N., Liao, X., & Huang, W. W. (2014). Decision support for preference elicitation in multi-attribute electronic procurement auctions through an agent-based intermediary. *Decision Support Systems*, 57, 127-138.
- Zhang, L., & Suganthan, P. N. J. I. S. (2016). A survey of randomized algorithms for training neural networks. 364, 146-155.