IEDA
Department of Economics Alzahra University

Journal of Iranian Economic Development Analyses
Alzahra University
Vol. 10, No. 26, Fall & Winter 2024

pp. 53-74

ALZAHRA UNIVERSITY

Research Paper

The Impact of E-Retail on Production: An Agent-Based Simulation Study[1]

Zahra Asadollahi Sohi[2], Hossein Raghfar[3]

Received: 2025/01/11 Accepted: 2025/06/22

Abstract

This study employs an agent-based simulation framework to investigate the impact of electronic retailers on manufacturers' inventory. While traditional retailers stabilize supply chains through static demand signals, electronic retailers leverage modern technologies to integrate dynamic data streams—such as sales trends, customer satisfaction metrics, and real-time shifts in consumer preferences—into the ecosystem. The model incorporates heterogeneous manufacturers with distinct forecasting strategies across four scenarios of changing customer preferences. These manufacturers are connected to either electronic platforms or traditional retailers, and the simulation evaluates forecasting accuracy. Findings reveal that manufacturers linked to electronic retailers, utilizing advanced demand forecasting and analytics, can experience growth rates of 54–120% under conditions of excess demand relative to supply at the start of the simulation. In contrast, manufacturers reliant on traditional retail channels face significant excess inventory when encountering demand shocks. A critical insight is the emergence of chaotic behavior, characterized by a Lyapunov exponent of 0.12 under initial supply-demand equilibrium conditions, highlighting the inherent instability of seemingly balanced markets. These results underscore agent-based modeling as a key tool for analyzing the complexities of diverse ecosystems.

Keywords: E-Retail, Agent-Based Simulation, Inventory Optimization, Demand Forecasting.
JEL Classification: C63, M11, L81, D90.

1 . doi: 10.22051/ieda.2025.50571.1463
2. Postdoctoral Researcher, Department of Economics, Faculty of Social Sciences and Economics, Alzahra University, Tehran, Iran. Corresponding Author. Email:z.asadollahi@gmail.com.
3. Full Professor, Department of Economics, Faculty of Social Sciences and Economics, Alzahra University, Tehran, Iran. Email: raghfar@alzahra.ac.ir.

دو فصلنامه تحلیل‌های اقتصادی توسعه ایران
دانشگاه الزهرا
دوره ۱۰، شماره ۲، شماره پیاپی ۲۶، پاییز و زمستان ۱۴۰۳
صفحات ۷۴-۵۳

مقاله پژوهشی

تاثیر خرده‌فروشی الکترونیک بر تولید: مطالعه شبیه‌سازی مبتنی بر عامل[۱]

زهرا اسداللهی سهی[۲] و حسین راغفر[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۰۸

چکیده

این پژوهش با به‌کارگیری چارچوب شبیه‌سازی مبتنی بر عامل، اثر خرده‌فروشان الکترونیک را بر موجودی تولیدکنندگان مورد بررسی قرار می‌دهد. درحالی‌که خرده‌فروشان سنتی از طریق سیگنال‌های ایستای تقاضا به تثبیت زنجیره‌های تأمین کمک می‌کنند، خرده‌فروشان الکترونیک با بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، جریان‌های پویای داده شامل روندهای فروش، شاخص‌های رضایت مشتری و تغییرات لحظه‌ای ترجیحات مصرف‌کننده را وارد اکوسیستم می‌کنند. این مدل شامل تولیدکنندگان ناهمگون با استراتژی‌های پیش‌بینی متفاوت در چهار سناریوی تغییر ترجیحات مشتری است. این تولیدکنندگان با پلتفرم‌های الکترونیک و یا خرده‌فروشان سنتی در ارتباط هستند و با شبیه‌سازی مدل، دقت پیش‌بینی ارزیابی شده است. یافته‌ها حاکی از آن است که تولیدکنندگان متصل به خرده‌فروشان الکترونیک با به‌کارگیری روش‌های پیش‌بینی و تحلیل تقاضای پیشرفته، در شرایط مازاد تقاضا بر عرضه در زمان شروع شبیه‌سازی، می‌توانند رشدی معادل ۵۴-۱۲۰ % را در فروش تجربه کنند، درحالی‌که تولیدکنندگان وابسته به خرده‌فروشی سنتی در مواجهه با شوک‌های تقاضا با موجودی فروش نرفته زیادی مواجه می‌شوند. نکته حائز اهمیت، ظهور رفتار آشوب‌گونه با نمای لیاپانوف ۰/۱۲ در شرایط تعادل اولیه عرضه-تقاضا است که بیانگر ناپایداری ذاتی در بازارهای به‌ظاهر متوازن است. این نتایج نشان می‌دهد مدل‌سازی مبتنی بر عامل ابزاری کلیدی برای تحلیل پیچیدگی‌های اکوسیستم‌های مختلف است.

واژگان کلیدی: خرده‌فروشی الکترونیک، شبیه‌سازی مبتنی بر عامل، بهینه‌سازی موجودی، پیش‌بینی تقاضا.
طبقه‌بندی موضوعی: *C63 ،M11 ،L81 ،D90*

---

۱. کد DOI مقاله: 10.22051/ieda.2025.50571.1463
۲. پژوهشگر پسادکتری، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اجتماعی و اقتصاد، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران. نویسنده مسئول.
Email:z.asadollahi@gmail.com
۳. استاد تمام اقتصاد، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اجتماعی و اقتصاد، دانشگاه الزهرا، تهران، ایران.
Email:raghfar@alzahra.ac.ir

مقدمه

خرده‌فروشان سنتی مانند فروشگاه‌های فیزیکی برای دهه‌ها ستون اصلی بخش خرده‌فروشی بوده‌اند. آن‌ها با تولیدکنندگان مستقیماً ارتباط برقرار کرده و موجودی خود را بر اساس داده‌های فروش مدیریت می‌کنند. مطالعات نشان داده‌اند که خرده‌فروشان سنتی نقش حیاتی در تثبیت زنجیره‌های تأمین و ارائه سیگنال‌های تقاضای پایدار به تولیدکنندگان ایفا می‌کنند (لو و ریردون[1]، ۲۰۱۸). بخش خرده‌فروشی ۳۱٪ از تولید ناخالص داخلی جهانی را تشکیل می‌دهد (جاوید و همکاران[2]، ۲۰۲۲).

بااین‌حال، ظهور فناوری‌های ارتباطی نوین و پلتفرم‌های تجارت الکترونیک، پویایی‌های جدیدی را در صنایع تولیدی ایجاد کرده است. خرده‌فروشان الکترونیک[3] با ارائه طیف وسیع‌تری از محصولات، حتی رفتار مصرف‌کنندگان را متحول ساخته‌اند. تحقیقات نشان می‌دهد این پلتفرم‌ها می‌توانند با ارائه قیمت‌های رقابتی و تجربیات خرید شخصی‌سازی‌شده، مدل‌های سنتی خرده‌فروشی را مختل کنند (بندری[4]، ۲۰۲۲). این مقاله از شبیه‌سازی مبتنی بر عامل[5] استفاده می‌کند تا تأثیر خرده‌فروشان الکترونیکی بر تولید و فروش تولیدکنندگان را بررسی کند. این مطالعه به‌طور خاص تولیدکنندگانی را که به خرده‌فروشان الکترونیکی متصل هستند، با آن‌هایی که به خرده‌فروشان سنتی متصل هستند مقایسه می‌کند. علاوه بر این، تأثیرات بر فروش کل و اقلام فروخته نشده را در پاسخ به شرایط متغیر بازار و ترجیحات مشتریان بررسی می‌کند. در مدل‌های مبتنی بر عامل، عوامل ناهمگنی با اهداف و قواعد تصمیم‌گیری مجزا وجود دارند. تعاملات آن‌ها در محیط منجر به رفتارهای پدیدارشونده[6] در سطح کلان می‌شود (اشتاین باخر و همکاران[7]، ۲۰۲۱).

ساختار این مقاله به شرح زیر است: بخش دوم پیشینه پژوهش را ارائه می‌دهد. در بخش سوم، داده‌های مختصری از تجارت الکترونیک ایران آورده شده است. بخش چهارم مدل مبتنی بر عامل را به تفصیل شرح می‌دهد، بخش پنجم داده‌ها و نتایج تجربی را بررسی می‌کند و در نهایت، با پیشنهادهایی برای مطالعات آتی و نتیجه‌گیری مقاله به پایان می‌رسد.

پیشینه پژوهش

۱. مبانی نظری

در دنیای معاصر، همگرایی علوم با محاسبات دیجیتال تحولی بنیادی ایجاد کرده است؛ چنین وضعیتی در حوزه اقتصاد نیز به وضوح مشهود است. شبیه‌سازی مبتنی بر عامل نوعی از این روش‌های اقتصاد

1. Lu & Reardon
2. Javaid *et al.*
3. E-Retailers
4. Bhandari
5. Agent Based Simulation Modeling
6. Emergent
7. Steinbacher *et al.*

محاسباتی است. در این رویکرد، عوامل در یک محیط اقتصادی، اجتماعی یا طبیعی به‌طور مستقیم با یکدیگر و با محیط پیرامون در تعامل هستند؛ به‌جای تلاش برای یافتن معادلات تعادلی، فرآیندهای پدیداری از طریق تعاملات واقعی میان عوامل شکل می‌گیرند. این شیوه مدل‌سازی، به واسطه کاهش سطح انتزاع نسبت به روش‌های استاندارد اقتصادی، شفافیت و وضوح قابل‌توجهی در تبیین دینامیک‌های اقتصادی فراهم می‌آورد (تسفاشن[1]، ۲۰۰۶). در این رویکرد، عوامل (اعم از خانوارها، بنگاه‌ها و یا نهادها) با ویژگی‌های ناهمگون، در یک محیط اقتصادی-اجتماعی تعریف می‌شوند و از طریق قوانین تعاملی ساده (مانند مذاکره، یادگیری و یا تقلید)، رفتارهای کلان پدیداری[2] مانند رکودهای ناگهانی، تشکیل حباب‌های بازار، یا نابرابری درآمدی را شکل می‌دهند. این روش، برخلاف مدل‌های تحلیلیِ مبتنی بر معادلات دیفرانسیل یا بهینه‌سازی ایستا، امکان تحلیل مسیرهای وابسته به تاریخ[3] و اثرات شبکه‌ای را بدون اتکا به مفروضات محدودکننده فراهم می‌کند (فارمر و فولی[4]، ۲۰۰۹). از مزایای کلیدی این روش، شفافیت در مکانیزم‌های علیتی، امکان آزمون سناریوهای ضد واقعی[5] و سیاست‌گذاری پویا است (فیشباخ و همکاران[6]، ۲۰۲۱). بااین‌حال، چالش‌هایی نیز در این حوزه وجود دارد. نخست، مسئله اعتبارسنجی مدل‌های مبتنی بر عامل است که نیازمند ترکیبی از روش‌های آماری، مقایسه با داده‌های تجربی و آزمون حساسیت پارامترها است. دوم، انتقاداتی درباره «استقلال نظری» این مدل‌ها مطرح شده است؛ برخی منتقدان معتقد هستند تمرکز بیش از حد بر شبیه‌سازی‌های عددی ممکن است به غفلت از مبانی نظری عمیق‌تر اقتصادی بینجامد (کولین و همکاران[7]، ۲۰۲۴). بااین‌حال، توسعه چارچوب‌هایی مانند تئوری پیچیدگی[8] و ادغام آن با اقتصاد رفتاری، پاسخی به این نقدها بوده و نشان می‌دهد که مدل‌سازی عامل‌بنیان نه تنها جایگزین، بلکه مکملی برای تحلیل‌های نظری کلاسیک است (کولین و همکاران، ۲۰۲۴). برای مجموعه‌ای از مقالات در مورد وضعیت فعلی و مسائل در مدل‌سازی مبتنی بر عامل در اقتصاد به کتاب تسفاشن و همکاران (۲۰۰۶) مراجعه کنید.

۲. ادبیات تجربی

خرده‌فروشان الکترونیکی دینامیک‌های جدیدی را به بازار خرده‌فروشی معرفی کرده است. آن‌ها داده‌های ارزشمندی در مورد ترجیحات و رضایت مصرف‌کنندگان را به وسیله پلتفرم‌های خود دریافت می‌کنند که می‌تواند به تولیدکنندگان کمک کند تا استراتژی‌های تولید خود را بهینه‌سازی کنند (گوال[9]،

1. Tesfatsion
2. Emergent Phenomena
3. Path Dependency
4. Farmer & Foley
5. Counterfactuals
6. Fischbach *et al.*
7. Collins et al.
8. Complexity Theory
9. Goel

۲۰۲۳). در ادامه خرده‌فروشان الکترونیک و خرده‌فروشان آنلاین معادل یکدیگر استفاده می‌شود. ساگر[1] (۲۰۲۴) نیز اشاره کرده است که در حوزه تحول دیجیتال، داده‌ها به عنوان یک دارایی استراتژیک حیاتی پدیدار شده‌اند. خرده‌فروشان از تجزیه‌وتحلیل داده‌ها برای درک رفتار مصرف‌کنندگان، ترجیحات و روندهای بازار استفاده می‌کنند و به این ترتیب کارایی عملیاتی را افزایش می‌دهند و امکان تصمیم‌گیری آگاهانه را برای تطابق با شرایط متغیر بازار فراهم می‌کنند. همچنین، فناوری‌های پیشرفته مانند هوش مصنوعی[2] و اینترنت اشیاء[3] در حال تحول بخش خرده‌فروشی هستند (هوآنگ و راست[4]، ۲۰۱۸). درحالی‌که برخی از شرکت‌های کوچک و متوسط از بازاریابی دیجیتال استفاده می‌کنند، تأثیر آن به‌طور قابل توجهی متفاوت است و توصیه یک استراتژی یکسان برای همه دشوار می‌شود. جاداو و همکاران[5] (۲۰۲۳) بینش‌هایی در مورد تکامل بازاریابی دیجیتال در طول زمان ارائه می‌دهند و نشان می‌دهند که چگونه شرکت‌های کوچک و متوسط آن را برای حفظ کسب‌وکار خود اتخاذ می‌کنند. برخی از محققان با بررسی چالش‌های منحصر به فرد مدیریت کانال آنلاین از دیدگاه شرکت‌های تولیدی، یک جایگاه کارآمد را ایجاد کرده‌اند و چندین فرمت فروش موجود برای آن‌ها را شناسایی کرده‌اند. یک گزینه برای تولیدکنندگان این است که مستقیماً از طریق وب‌سایت‌های خود محصولات خود را بفروشند (ماتسویی[6]، ۲۰۱۶). استراتژی دیگری شامل همکاری با پلتفرم‌های آنلاین تخصصی شخص ثالث است که به عنوان بازار عمل می‌کنند و تولیدکنندگان محصولات خود را در ازای هزینه خدمات به فروش می‌رسانند (کی و همکاران[7]، ۲۰۲۰). در نهایت، تولیدکنندگان می‌توانند محصولات خود را به خرده‌فروشان آنلاین تخصصی یا عمومی توزیع کنند (پو و همکاران[8]، ۲۰۲۱).

جاناچ و لایتنر[9] (۲۰۱۶) استدلال می‌کنند که مطالعات در حوزه‌ی پویای تجارت الکترونیک، روش‌های تحقیق سنتی اغلب به دلیل رشد سریع و تغییر رفتار کاربران این حوزه، ناکام می‌مانند. مدل‌سازی و شبیه‌سازی مبتنی بر عامل جایگزین امیدوارکننده‌ای برای مقابله با این چالش‌ها ارائه می‌دهند. آن‌ها به بررسی پتانسیل این روش‌ها برای درک دینامیک پیچیده تجارت الکترونیک و بهبود فهم ما از این حوزه می‌پردازند. مدل‌های آن‌ها الگوهای ارتباطی و اشتراک‌گذاری اطلاعات بین بازیگران را بررسی کرده و تأثیر عوامل شخصیتی و فرهنگی بر رفتارها، ترجیحات و فرآیندهای تصمیم‌گیری در تجارت الکترونیک را مورد بررسی قرار می‌دهند. یک مطالعه مبتنی بر عامل دیگر، هرچند که به تجارت الکترونیک یا خرده‌فروشان

1. Sager
2. Artificial Intelligence
3. Internet of Things
4. Huang & Rust
5. Jadhav *et al.*
6. Matsui
7. Qi *et al.*
8. Pu *et al.*
9. Jannach & Leitner

الکترونیکی متمرکز نیست، به بررسی مزایای همکاری زنجیره تأمین (SC)[1] در مناطق صنعتی[2] می‌پردازد. این شبیه‌سازی تعاملات بین عوامل از جمله خریداران، تأمین‌کنندگان و بازیگران واقعی که در محیط مناطق صنعتی هستند را بررسی می‌کند. مطالعه به یک فرم خاص از همکاری SC که هدف آن بهینه‌سازی استفاده از ظرفیت تولید و کاهش تقاضای نارضایتی مشتریان است، متمرکز است و تأثیر مثبت چنین همکاری را بر عملکرد مناطق صنعتی، به ویژه در سناریوهایی با تغییرات زیاد در تقاضا، نشان می‌دهد. نتایج بر اهمیت همکاری فشرده شرکت‌های رهبر در داخل مناطق صنعتی برای بهبود کارایی و عملکرد کلی در مواجهه با تغییرات تقاضا تأکید می‌کنند (آلبینو و همکاران[3]، ۲۰۲۱).

تحقیقات بیشتری باید به بررسی تفاوت بین تولیدکنندگان متصل به خرده‌فروشان سنتی و آن‌هایی که به خرده‌فروشان الکترونیکی متصل هستند و همچنین تأثیر تجارت الکترونیک بر فروش‌های ناموفق و نارضایتی بپردازد. با استفاده از مدل‌های مبتنی بر عامل، می‌توانیم ترجیحات مختلف مشتریان و روش‌های مختلف تولیدکنندگان برای پیش‌بینی تولید را بررسی کنیم. با گنجاندن پارامترهای تصادفی، می‌توانیم طیف گسترده‌ای از پدیده‌های پدیدارشونده را مطالعه کنیم.

وضعیت خرده‌فروشی الکترونیک در اقتصاد ایران

در این بخش، به بررسی وضعیت کنونی خرده‌فروشی الکترونیک در ایران پرداخته می‌شود تا زمینه بومی پژوهش برای خوانندگان بین‌المللی مشخص گردد. ارائه آمارها و تحلیل چالش‌های ساختاری مرتبط با این حوزه، نشان‌دهنده پیچیدگی‌های موجود در اقتصاد دیجیتال ایران و تأثیر آن بر مدل‌های شبیه‌سازی است.

۱. مروری بر روندهای کلان

ارزش بازار: در این حوزه داده‌های دقیقی وجود ندارد و منابع مختلف داده‌های متفاوتی ارائه داده‌اند، بر اساس گزارش مرکز توسعه تجارت الکترونیکی وزارت صنعت، معدن و تجارت، ارزش بازار خرده‌فروشی الکترونیک در سال ۱۴۰۲ ارزش معاملات تجارت الکترونیکی ۳۱۸۸ هزار میلیارد تومان بوده که نسبت به سال قبل ۷۴ درصد رشد داشته است.

سهم تجارت الکترونیک: به گزارش دیجی‌کالا سهم تجارت الکترونیک از کل خرده‌فروشی کشور از ۲٫۱٪ در سال ۱۳۹۵ به ۶٪ در سال ۱۴۰۲ افزایش یافته است؛ اما به گزارش مرکز توسعه تجارت الکترونیکی این سهم ۲۵ درصد است. ارزش معاملات تجارت الکترونیک نیز نسبت به سال ۱۴۰۱، ۷۴ درصد رشد داشته است. به‌طورکلی تعداد معاملات الکترونیک ۳/۹ میلیارد فقره به ارزش متوسط ۸۱۵ هزار تومان بوده است که هر معیار به ترتیب ۳۱ و ۳۳ درصد رشد داشته است.

1. Supply Chaine
2. Industrial District
3. Albino *et al.*

۲. چالش‌های ساختاری

مهم‌ترین چالش‌های تجارت الکترونیک در ایران عبارت‌اند از:

- نوسانات اقتصادی: تورم بالا، تغییرات ناگهانی نرخ ارز و کاهش قدرت خرید مردم، فشار زیادی به خرده‌فروشان وارد کرده است. این موضوع باعث می‌شود که پیش‌بینی فروش و برنامه‌ریزی بلندمدت برای بسیاری از کسب‌وکارها دشوار شود.
- مسائل فرهنگی: در جامعه ایران هنوز فرهنگ خرید حضوری بسیار پسندیده‌تر و از لحاظ روحی و روانی مقبول‌تر از فرهنگ خریدوفروش به وسیله اینترنت است.
- فقدان آموزش و آگاهی لازم.
- ضعف بسترسازی ارتباطی: استفاده از تجارت الکترونیک در یک کشور به طرز قابل توجهی به سطح آمادگی فنی شامل عواملی نظیر سطح نفوذ فناوری، هزینه وسایل دسترسی و کیفیت اینترنت بستگی دارد. محدود بودن تجهیزات و زیرساخت‌های مخابراتی نظیر خطوط تلفن، فیبر نوری و شبکه‌های ماهواره‌ای از جمله ضعف‌های زیرساختی کشور در حوزه تجارت الکترونیک است.
- چالش‌های قانونی و حقوقی: عدم وجود قوانین مدون مناسب در زمینه برخورد با جرائم الکترونیکی، مانع جدی در توسعه تجارت الکترونیک محسوب می‌شود.
- عدم دسترسی به پلتفرم‌های خارجی: به دلیل تحریم‌ها و محدودیت‌های بانکی، تولیدکنندگان ایرانی قادر نیستند به‌صورت مستقیم از طریق پلتفرم‌های بین‌المللی مثل آمازون فروش داشته باشند. پلتفرم‌های داخلی نیز به بازارهای بین‌المللی دسترسی محدودی دادند. درحالی‌که سیستم‌هایی مانند دیجی‌کالا و اسنپ مارکت سهم تقریبی ۶۵٪ از بازار خرده‌فروشی الکترونیک ایران را در اختیار دارند و در توسعه اعتماد مصرف‌کننده در این حوزه نقش بسزایی دارند.

مدل مبتنی بر عامل

در این بخش به شرح و تفصیل مدل پرداخته شده است، اما قبل از آن لازم است علت استفاده از این روش طرح شود. دلایل به‌کارگیری شبیه‌سازی مبتنی بر عامل برای این پژوهش به شرح ذیل است:

پیچیدگی تعاملات: در سیستم‌های تولید و خرده‌فروشی الکترونیک، تعاملات بین عوامل مختلف (تولیدکنندگان، خرده‌فروشان، کالاها و مشتریان) منجر به پدیده‌های پدیدارشونده در سطح کلان می‌شود. مدل‌های سنتی به دلیل ناتوانی در شمول این تعاملات چندجانبه که اغلب غیرخطی و وابسته به مسیر هستند، معمولاً نمی‌توانند دینامیک سیستم را به‌طور جامع منعکس کنند. در مدل حاضر نیز تعامل بین عوامل و تصمیم‌گیری آن‌ها وابسته به مسیر و غیرخطی هستند.

ناهمگونی عامل‌ها: تولیدکنندگان و مشتریان در رفتار، استراتژی‌ها، دسترسی به اطلاعات و سرمایه ناهمگون هستند. روش به‌کاربرده شده امکان تعریف عامل‌های منحصربه‌فرد با قوانین تصمیم‌گیری متفاوت را فراهم می‌کند.

انعطاف‌پذیری در سناریوهای مختلف: با استفاده از مدل مبتنی بر عامل امکان شبیه‌سازی سناریوهای متفاوت (مانند تغییرات سیکلی، تغییرات خطی و شوک‌های تصادفی در ترجیحات مشتری) فراهم می‌شود که به بررسی اثرات متنوع بر نتایج سیستم کمک می‌کند.

توانایی تعمیم و پذیرش داده‌های بومی: اگرچه در حال حاضر داده‌های به‌کاررفته فرضی هستند، اما چارچوب مدل به گونه‌ای طراحی شده است که با دریافت داده‌های میدانی از بازار واقعی به‌روزرسانی و تعمیم داده شود.

۱. عوامل و ویژگی‌های آن‌ها

چهار نوع عامل در این مدل‌سازی لحاظ شده‌اند:

- تولیدکنندگان: آن‌ها در اندازه و کیفیت متفاوت هستند و مقدار هر نوع کالا برای تولید در هر دوره را تعیین می‌کنند.
- خرده‌فروشان: این عوامل نماینده خرده‌فروشان سنتی یا الکترونیکی هستند. آن‌ها با تولیدکنندگان و مشتریان ارتباط دارند و بر اساس ظرفیت موجودی خود محصولات را خریداری می‌کنند.
- کالاها: این عوامل توسط تولیدکنندگان بر اساس پیش‌بینی‌ها تولید می‌شوند. نوع، کیفیت و قیمت آن‌ها بستگی به تصمیم تولیدکنندگان دارد.
- مشتریان: کالای مورد نظر خود را بر اساس ترجیح خود انتخاب می‌کنند.

۲. اقدامات

عوامل اقدامات مختلفی برای دستیابی به اهداف خود انجام می‌دهند. در ادامه زمان وقوع هر اقدام و نحوه عملکرد آن را توصیف می‌کنند:

مشتریان: مشتریان تصمیم می‌گیرند که آیا محصولات موجود را بر اساس ترجیحات و بودجه خود خریداری کنند یا خیر. آن‌ها نیازهای خود را بازنگری کرده و نزدیک‌ترین خرده‌فروشان کلاسیک (در یک شعاع خاص) یا خرده‌فروشان الکترونیکی را شناسایی می‌کنند. در صورت موجود بودن نیاز خود، مشتریان کالاهای با کیفیت بالا که با طرح، قیمت و دسترسی مورد ترجیحشان مطابقت دارند را خریداری می‌کنند. اگر کالاهای با کیفیت بالا موجود نباشند، آن‌ها کالاهای با کیفیت پایین‌تر را با استفاده از همان معیارها ارزیابی می‌کنند. اگر این‌ها نیز موجود نباشند، آن‌ها کالاهای با کیفیت بالا با طرح متفاوت را در نظر می‌گیرند. در نهایت، اگر هیچ کالای رضایت‌بخشی موجود نباشد، مشتریان ممکن است به خرید هر چیزی که با بودجه‌شان مطابقت دارد، تن دهند. اگر هیچ کالای مناسبی پیدا نشود، مشتری "ناراضی" باقی می‌مانند. این رفتار مبتنی بر تصمیم‌گیری رضایت‌مندانه[1] است که شامل جستجوی یک راه‌حل رضایت‌بخش به‌جای بهترین راه‌حل است. مشتریان به دنبال یافتن کالایی هستند که به اندازه کافی خوب باشد تا نیازهایشان را بر اساس محدودیت‌های خود برآورده کنند (وارگوا و همکاران[2]، ۲۰۲۰)

1. Satisficing
2. Vargová *et al.*

تولیدکنندگان: تولیدکنندگان بر اساس اطلاعات فروش از فصول گذشته، مقدار مطلوب دو نوع کالا برای فصل بعد را تعیین می‌کنند. خرده‌فروشان سنتی اطلاعات فروش کالاهای فروخته‌شده را به تولیدکنندگان تأمین‌کننده‌ی کالا ارائه می‌دهند، درحالی‌که خرده‌فروشان الکترونیکی نیز داده‌های رضایت مشتری با محصولات مختلف را فراهم می‌کنند. تولیدکنندگان از یک قانون ساده برای محاسبه فروش خود با محاسبه میانگین متحرک فروش قبلی خود و رضایت مشتری استفاده می‌کنند. طول میانگین متحرک بستگی به مشخصات کالا دارد. در یک نوع دیگر از شبیه‌سازی، تولیدکنندگان می‌توانند همچنین شیب تغییرات در داده‌های فروش به‌دست‌آمده از خرده‌فروشان مختلف را محاسبه کنند.

خرده‌فروشان: خرده‌فروشان با تولیدکنندگانی که کالای خود را از آن‌ها تأمین می‌کنند تعامل می‌کنند. خرده‌فروشان سنتی می‌توانند داده‌های فروش برای کالاهای مختلف را در بازه‌های کوتاه ذخیره کنند، درحالی‌که خرده‌فروشان الکترونیکی می‌توانند هر دو داده‌های فروش و رضایت را کسب کنند.

۳. محیط

این مدل به ما امکان می‌دهد تغییر در ترجیحات مشتریان کالاها را در طول زمان با سناریوهای متفاوت در مدل در نظر بگیریم. در این صورت، فروض اولیه محدودکننده کمتری را لحاظ کرده‌ایم و در نتیجه جواب مدل قابلیت تعمیم بیشتری دارد. در واقع محیط در مدل ما شامل رفتار مشتریان و فاصله عوامل با یکدیگر است.

۴. مدل ریاضی

مجموعه‌ها و شاخص‌های مدل شامل پارامترها و متغیرها در جدول زیر آمده است.

جدول ۱. پارامترهای مدل

پارامتر	تعریف	بازه
I_r	ظرفیت خرده‌فروش "r"	$[0, MaxI_r]$ $MaxI_r \sim F(MaxI_r)$
R_r	متغیر باینری که نشان‌دهنده الکترونیک یا سنتی بودن خرده‌فروش است.	$\{0,1\}, R_r \sim \mathrm{P}(x \epsilon R_r)$
Dis_r	شعاع پوشش خرده‌فروش "r"	(۵٪ تا ۱۰٪) از شعاع پوشش خرده‌فروش الکترونیکی.
$Pr_{d,m}$	قیمت محصول نوع "d" ام توسط تولیدکننده "m" ام	$Pr_{d,m} \sim F(Pr_{d,m})$
$Q_{d,m}$	کیفیت محصول نوع "d" ام توسط تولیدکننده "m" ام	$\{0,1\}, Q_{d,m} \sim \mathrm{P}(x \epsilon Q_{d,m})$
B_c	بودجه مشتری "c" ام	$B_c \sim F(B_c)$
$Pi_{c,d,t}$	احتمال ترجیح محصول "d"ام توسط مشتری "c" ام در زمان "t"ام	$Pi_{c,d,t} \sim F(Pi_{c,d,t})$
X_c, Y_c	مکان تصادفی مشتری "c" ام بر نقشه	مکان تصادفی مشتری
X_r, Y_r	مکان تصادفی خرده‌فروش "r"ام	مکان تصادفی خرده‌فروش
τ	بازه زمانی میانگین متحرک	$[1 \dots max\tau]$
π	مدت زمان رضایت ناشی از خرید یک محصول	$[1 \dots max\pi]$

منبع: یافته‌های مطالعه

جدول ۲. متغیرهای تصمیم‌گیری مربوط به عوامل مدل

متغیرهای تصمیم	تعریف
$AM_{d,m,t}$	مقدار کالای نوع «d» تولیدشده توسط تولیدکننده «m» در زمان.«t»
$XC_{c,d,m,r,t}$	متغیر باینری تصمیم مشتری: اگر مشتری«c» ، محصول «d» تولیدشده توسط تولیدکننده «m» را از خرده‌فروش «r» در زمان «t» خریداری کند، مقدار آن ۱ و در غیر این صورت صفر است.
$RQ_{d,m,r,t}$	مقدار کالای نوع «d» خریداری‌شده توسط خرده‌فروش «r» در زمان «t» از تولیدکننده.«m»

منبع: یافته‌های مطالعه

جدول ۳. سایر متغیرهای مدل

سایر متغیرها	تعریف
$FM_{d,m,t}$	مقدار پیش‌بینی شده نوع کالای «d» که توسط تولیدکننده «m» در زمان «t» فروخته خواهد شد.
$S_{c,d,m,r,t}$	یک متغیر باینری که اگر مشتری «c» از خرید نوع محصول «d» تولیدشده توسط تولیدکننده «m» از خرده‌فروش «r» در زمان «t» رضایت داشته باشد، مقدار آن ۱ و در غیر این صورت ۰ است.
$SA_{d,m,r,t}$	فروش نوع محصول «d» تولیدشده توسط تولیدکننده «m» در زمان «t» توسط خرده‌فروش.«r»
$UNS_{d,m,r,t}$	نوع محصول «d» تولیدشده توسط تولیدکننده «m» که توسط خرده‌فروش «r» در زمان «t» فروخته نشده باقی مانده است.

منبع: یافته‌های مطالعه

توابع هدف به شرح زیر است:

$$\min_{\sum R_r} \max_{t} \sum_{d,m,r}^{D,M,R} UNS_{d,m,r,t} \Big/ \sum_{d,m,r}^{D,M,R} SA_{d,m,r,t} \qquad (۱)$$

$$\max_{\sum R_r} \min_{t} \sum_{d,m,r,c}^{D,M,R,CU} (1 - S_{c,d,m,r,t}) \Big/ \sum_{d,m,r}^{D,M,R} SA_{d,m,r,t} \qquad (۲)$$

اهداف مدل این است که تعداد بهینه خرده‌فروشان الکترونیکی تعیین شود به‌گونه‌ای که نسبت اقلام فروخته‌نشده به اقلام فروخته‌شده و نسبت نارضایتی به فروش را به حداقل برساند.

محدودیت‌ها و سایر روابط نیز برای هر دسته از عوامل جداگانه به شرح زیر است.

محدودیت مربوط به تولیدکنندگان:

$$\sum_{c,r}^{CU,R} XC_{c,d,m,r,t} \leq AM_{d,m,t} \qquad \forall\, d, m, \qquad (۳)$$

$$AM_{d,m,t+1} = FM_{d,m,t} \qquad \forall\, d,m,t \qquad (۴)$$

محدودیت مربوط به واردکنندگان:

$$\sum_{c}^{CU} XC_{c,d,m,r,t} = SA_{\,d,m,r,t} \qquad \forall\, d,r,m,t \qquad (۵)$$

$$\sum_{c,m}^{CU,M} XC_{c,d,m,r,t} \le \sum_{m}^{M} RQ_{\,d,m,r,t} \qquad \forall\, d,r,t \qquad (۶)$$

$$\sum_{m,d}^{M,D} RQ_{\,d,m,r,t} \le I_r \qquad \forall\, r,t \qquad (۷)$$

$$UNS_{\,d,m,r,t} = RQ_{\,d,m,r,t} - SA_{d,m,r,t} \quad \forall\, d,r,m,t \qquad (۸)$$

روابط مربوط به تخمین آینده:

در صورت استفاده از روش میانگین متحرک با پریود τ:

$$FM_{d,m,t+1} = \frac{\left(\sum_{t=t-\tau}^{t}\sum_{r,c}^{R,CU} S_{c,d,m,r,t} * R_r + \sum_{r}^{R} SA_{\,d,m,r,t} * (1-R_r)\right)}{\tau} \quad \forall\, d,m,t \qquad (۹)$$

در صورت لحاظ کردن میزان تغییرات گذشته برای پیش‌بینی آینده:

$$slopS_{d,m,t} = \sum_{r,c}^{R,CU}(S_{c,d,m,r,t} - S_{c,d,m,r,t-1}) \Big/ \sum_{r,c}^{R,CU}(S_{c,d,m,r,t}) \qquad \forall\, d,m,t \qquad (۱۰)$$

$$slopSA_{d,m,t} = \sum_{r,c}^{R,CU}(SA_{c,d,m,r,t} - SA_{c,d,m,r,t-1}) \Big/ \sum_{r,c}^{R,CU}(SA_{c,d,m,r,t}) \qquad \forall\, d,m,t \qquad (۱۱)$$

$$FM_{d,m,t+1} = \sum_{r,c}^{R,CU} S_{c,d,m,r,t} * slopS_{d,m,t} * R_r + \sum_{r}^{R} SA_{\,d,m,r,t} * slopSA_{d,m,t} * (1-R_r) \qquad \forall\, d,m,t \qquad (۱۲)$$

تصمیم مشتری برای خرید محصول:

$$XC_{c,d,m,r,t} = 1 \quad \text{اگر}$$

$$if\ R_r = 0\ , \sqrt[2]{(X_r - X_c)^2 + (Y_r - Y_c)^2} \leq Dis_r\ or\ R_r = 1\ \text{and}$$

$$\text{If customer "c" prefers "d" by probability } Pi_{c,d,t}\ if\ UNS_{d,m,r,t} \geq 0\ \text{And}\ Pr_{d,m} \leq B_c \qquad (۱۳)$$

$$elseif\ UNS_{d',m,r,t} \geq 0\ \text{and}\ Q_{d,m} = 1\ \text{and}\ Pr_{d,m} \leq B_c$$

$$\text{Elseif } UNS_{d',m,r,t} \geq 0\ \ and\ Pr_{d,m} \leq B_c$$

دوره نیاز مشتری:

$$\sum_{t,d,m,r}^{max\pi,D,M,R} XC_{c,d,m,r,t} = 1 \qquad \forall\ c,t \qquad (۱۴)$$

نتیجه داده رضایت:

$S_{c,d,m,r,t} = 1$ اگر $XC_{c,d,m,r,t}$ یک باشد و درصورتی‌که مشتری که محصول "d" را خریداری کرده همان محصول را در نظر داشته است. (۱۵)

۵. فرآیند شبیه‌سازی

در هر گام زمانی عامل‌های مختلف هم‌زمان با توجه به محیط و ویژگی‌های خود تصمیم می‌گیرند که شرح جزییات آن پیش‌تر طرح شد. پس به اختصار:

مقادیر اولیه شامل پارامترهای محیط، عوامل و ویژگی‌های آن‌ها در نرم‌افزار تعریف و اختصاص داده می‌شود. مقادیر می‌توانند هر توزیعی داشته باشند.

مشتریان نیازهای خود را به‌روزرسانی کرده و مناسب‌ترین خرده‌فروش را انتخاب می‌کنند.

خرده‌فروشان موجودی خود را از تولیدکنندگان سفارش می‌دهند و بر اساس نوع و توانایی خود داده جمع‌آوری می‌کنند.

تولیدکنندگان: تولید را بر اساس پیش‌بینی تقاضا از داده‌ها و فروش دوره‌های قبلی و ویژگی‌های خود تنظیم می‌کنند.

خروجی‌های مدل در هر گام به‌روزرسانی و ذخیره می‌شود.

در آزمایش‌های اولیه، ۱۰ تولیدکننده با اندازه‌های مختلف مدل‌سازی شد. مقدار تولید بر اساس اندازه هر تولیدکننده تعیین شده که به صورت تصادفی بین آن‌ها توزیع شد. در اجرای اولیه، کل تولید به‌طور

تقریبی با تقاضای یک مجموعه اولیه ۱۰۰۰ مشتری مطابقت داده شد. فرض بر این بود که به‌طورکلی، تولیدکنندگان ظرفیت برآورده کردن این تقاضا را دارند. اگر مشتریان کالاها را خریداری کنند، نیازهای آن‌ها برای دو دور بعدی برآورده می‌شود. ۱۰ خرده‌فروش در مدل وجود دارد که می‌توانند سنتی یا الکترونیکی باشند و تعداد خرده‌فروشان الکترونیکی به عنوان متغیر تصمیم ما در سناریوها عمل می‌کند. همه اقدامات عوامل بر اساس توضیحات ارائه‌شده در بخش قبلی است. چهار سناریوی اصلی در نظر گرفته شده است که در آن‌ها ترجیحات مشتری نسبت به محصولات در طول زمان تغییر می‌کند. دو دسته محصول کلی تعریف شده است: محصول ۱ و محصول ۲. فرض بر این است که مطلوبیت محصول ۱ در سناریوهای مختلف متفاوت است، درحالی‌که باقی مشتریان محصول ۲ را ترجیح می‌دهند.

چهار سناریوی ترجیح مشتری به شرح زیر در نظر گرفته شده‌اند:

- در سناریوی "ترجیحات ثابت"، هر مشتری به صورت تصادفی با احتمال ۵۰٪ محصول ۱ یا محصول ۲ را ترجیح می‌دهد. ثابت در این سناریو به این معنی است که احتمال ترجیح هر کدام از محصولات ثابت و برابر ۰/۵ است.
- در سناریوی "رشد و کاهش چرخه‌ای"، جذابیت محصول ۱ در طول زمان با استفاده از یک تابع سینوسی نوسان می‌کند و ارجحیت محصول ۲ نیز در مقابل آن حرکت می‌کند. این سناریو نماینده تغییرات سیکلی و متناوب است.
- در سناریوی "تغییر ترجیح خطی"، ترجیحات محصول به صورت خطی کاهش می‌یابد و در مقابل محصول دیگر افزایش می‌یابد.
- در نهایت، در سناریوی "ترجیح تصادفی"، در برخی از دوره‌های زمانی مطلوبیت محصول ۱ در مقایسه با محصول ۲به‌طور تصادفی در فواصل پواسونی کاهش یا افزایش می‌یابد، که سبب ایجاد شوک‌های نامنظم در سیستم می‌شود.

در مدل اگر مشتری هیچ محصولی را ترجیح ندهد، نیازهایش در آن دوره برآورده نمی‌شود و ممکن است در دوره‌های بعدی تأمین شود.

برای هر حالتِ مختلفی که سلیقه و نیاز مشتریان تغییر می‌کند، سه مدلِ متفاوت از «محدوده خدماتی» فروشگاه‌های سنتی بررسی شده است. منظور از این محدوده، حداکثر فاصله‌ای است که مشتریان حاضرند برای خرید از یک فروشگاه سنتی طی کنند (مثلاً چند کیلومتر)، به منظور سادگی در ادامه و در جداول این پارامتر را شعاع می‌نامیم. در حالت اول، محدوده خدماتی خرده‌فروشان سنتی برابر با محدوده خدماتی خرده‌فروشان الکترونیکی است؛ البته تفاوت دو نوع خرده‌فروش به قوت خود باقی است و کماکان تمرکز خرده‌فروشان الکترونیکی بر داده‌های مشتری و سطح رضایت است. در حالت دوم، شعاع برابر با ۱۰ درصد شعاع پوشش خرده‌فروشان الکترونیکی تنظیم شده است و در حالت سوم، ۵ درصد که یک بیستم شعاع پوشش خرده‌فروشان الکترونیکی است. تعداد خرده‌فروشان الکترونیکی می‌تواند از ۱ تا ۱۰ متغیر باشد، در نتیجه در مجموع ۲۴۰ آزمایش انجام می‌شود که هر کدام ۱۰ بار برای ۵۰ دوره اجرا می‌شوند. جدول (۵) نتایج متوسط حداکثر و حداقل متریک‌های کالاهای فروخته نشده/فروش، همراه با تعداد

خرده‌فروشان الکترونیکی در یک شبیه‌سازی ۵۰ تیک را ارائه می‌دهد. این نتایج از اجرای شبیه‌سازی بیش از ۱۰ بار برای هر سناریو به دست آمده‌اند.

یافته‌ها و نتایج تجربی

با توجه به گام‌ها و شرح مدل در بخش قبلی، مدل با نرم‌افزارNETLOGO اجرا خواهد شد زیرا این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی‌های مبتنی بر عامل با رابط بصری ساده و انعطاف‌پذیری بالا جهت مدل‌سازی تعاملات پیچیده طراحی شده است. از نرم‌افزار MINITAB نیز به منظور تحلیل داده استفاده شده زیرا این نرم‌افزار مجموعه‌ای جامع از ابزارهای آماری دقیق و قابل اعتماد را ارائه می‌دهد.

جدول (۴) نشان می‌دهد که چگونه تنظیمات مختلف شعاع دسترسی خرده‌فروشان به مشتریان و سناریوهای طراحی ترجیحات مشتریان، بر کالاهای فروخته نشده تولیدکنندگان تأثیر می‌گذارد. هر سلول جدول شامل دو مجموعه پرانتز است. مجموعه اول شامل میانگین حداکثر و حداقل مقادیر کالاهای فروخته نشده تقسیم بر فروش در ۱۰ اجرا است، درحالی‌که مجموعه دوم شامل تعداد خرده‌فروشان الکترونیکی است که در آن مقدار اول این زوج مرتب اتفاق افتاده است. اگر به جای یک مقدار در هر زوج مرتب، یک لیست (با علامت []) وجود داشته باشد، به این معنی است که مقادیر مرتبط در یک دامنه خاص رخ می‌دهند. در تمام سناریوها، حداقل نسبت کالاهای فروخته نشده به فروش زمانی رخ می‌دهد که تمام خرده‌فروشان الکترونیکی باشند، درحالی‌که حداکثر این نسبت زمانی مشاهده می‌شود که هیچ خرده‌فروش الکترونیکی وجود نداشته باشد.

جدول ۴. حداکثر و حداقل معیارهای اقلام فروخته‌نشده به فروش و تعداد خرده‌فروشان

	حداکثر و حداقل معیارهای اقلام فروخته‌نشده به فروش و تعداد خرده‌فروشان الکترونیکی متناظر		
	پوشش برابر	شعاع خرده‌فروشان سنتی = ۱۰٪	شعاع خرده‌فروشان سنتی = ۵٪
ترجیحات ثابت	(0.03, 0.01), (0, 10) (0.11, 0.1), (0, 10)	(0.02, 0.01), (0,10) (0.19, 0.05), (0, 10)	(0.06, 0.01), (0, 10) (0.2, 0.08), (0, 10)
رشد و کاهش چرخه‌ای	(0.04, 0.02), (0, 10) (0.12, 0.11), (0, 10)	(0.02, 0.007), (0, 10) (0.18, 0.09), (0, 10)	(0.06, 0.01), ([0…4], 10) (0.22, 0.12), (0, 10)
تغییر ترجیح خطی	(0.04, 0.019), (0, 10) (0.17, 0.16), (0, 10)	(0.03, 0.009), (1, 10) (0.17, 0.07), (0, 10)	(0.05, 0.01), (0,10) (0.19, 0.12), (0, 10)
ترجیح تصادفی	(0.035, 0.018), ([0...3], 10) (0.19, 0.18), (0, 10)	(0.03, 0.01), (1, 10) (0.25, 0.1), (0, 10)	(0.07, 0.01), ([0...3],10) (0.3, 0.15), (0, 10)

منبع: یافته‌های پژوهش

برای تنظیماتی با شعاع کوچک‌تر برای خرده‌فروشان کلاسیک، حداکثر نسبت کالاهای فروخته نشده به فروش با ۱ تا ۴ خرده‌فروش الکترونیکی رخ می‌دهد، نشان‌دهنده این است که برای دستیابی به نسبت کمتر کالاهای فروخته نشده به فروش در این موارد، نیاز به تعداد بیشتری خرده‌فروش الکترونیکی است. مهم‌ترین مزیت فروشندگان آنلاین در سناریوهایی مشاهده می‌شود که تغییرات نامنظم در ترجیحات مشتریان وجود دارد؛ یعنی تولیدکننده با عدم قطعیت بیشتری روبه‌رو است و محدوده پوشش خرده‌فروشان در حداقل میزان خود (در شبیه‌سازی ما شعاع ۵) قرار دارد.

جدول (۵) نتایج شبیه‌سازی نسبت حداکثر تقاضای برآورده نشده مشتریان به فروش کل و تعداد فروشندگان آنلاین مربوط به این مقدار را در سناریوها و پیکربندی‌های مختلف مدل نشان می‌دهد. نسبت حداکثر تقاضای برآورده نشده مشتریان به فروش کل نشان‌دهنده مشتریانی است که به طراحی مورد علاقه خود از کالا دست نیافته‌اند، اما ممکن است گزینه‌های موجود را بپذیرند.

جدول ۵. نسبت حداکثر تقاضای برآورده نشده به فروش کل، منبع: یافته‌های تحقیق

	نسبت حداکثر تقاضای برآورده نشده به فروش کل و تعداد خرده‌فروشان الکترونیک متناظر		
	پوشش برابر	شعاع خرده‌فروشان سنتی = ۱۰٪	شعاع خرده‌فروشان سنتی = ۵٪
ترجیحات ثابت	0.04, 20 0.01, 12	0.17, [0, 17] 0.09, 0	0.7, [0...3] 0.05, [0...3]
رشد و کاهش چرخه‌ای	0.04, 0 0.017, 0	0.34, [0, 2, 17] 0.04, 1	0.7, [0...3] 0.08, [0...3]
تغییر ترجیح خطی	0.043, 0 0.004, 14	0.5, [0, 2] 0.07, 0	0.8, [0...3] 0.05, [0...3]
ترجیح تصادفی	0.045, 0 0.003, 0	0.56, [0, 3] 0.09, 0	0.9, [0...3] 0.05, [0...3]

منبع: یافته‌های پژوهش

توجه شود مقدار حداکثر تقاضای برآورده نشده به عنوان نمایه در نظر گرفته شده است، زیرا در شرایطی که عرضه محصول از تقاضا پیشی می‌گیرد، ممکن است تقاضای برآورده نشده صرف‌نظر از حالت ترجیحات و اشتراک اطلاعات، بسیار ناچیز باشد. در تمام سناریوها، بالاترین میزان تقاضای برآورده نشده زمانی رخ می‌دهد که تعداد فروشندگان آنلاین در کمترین حد باشد. برای شعاع‌های ۱۰ و ۵، این تقاضای برآورده نشده بسته به «مقدار هسته تصادفی اولیه[1]» بین ۰ تا ۲ و ۰ تا ۳ فروشنده

1. Random Seed

آنلاین متغیر است. تمامی این نتایج با استفاده از مکانیسم‌های پیش‌بینی فروش تولیدکنندگان مبتنی بر "میانگین متحرک فروش" به‌دست‌آمده‌اند. ما همچنین آزمایش‌ها را با روش "تحلیل شیب فروش و داده‌های رضایتمندی" به منظور پیش‌بینی بازار تکرار کرده‌ایم. روش شیب نسبت به روش‌هایی مانند رگرسیون ساده‌تر است، اما مشابه بهره بردن از رگرسیون و نماینده‌ای از روش‌های دقیق‌تر پیش‌بینی است؛ اما آمار نشان می‌دهد ۴۳٪ از کسب‌وکارهای کوچک، موجودی‌های فروخته‌نشده خود را رصد نمی‌کنند، بنابراین استفاده از قوانین پیچیده غیرواقعی است. علاوه بر این، با پیروی از اصل ساده نگه داشتن مدل[1]، هدف ما حفظ سادگی مدل و همسویی آن با تصمیمات عامل‌ها بود (آدام و گاودو[2]، ۲۰۱۶). نتایج شبیه‌سازی‌ها با این نوع پیش‌بینی در جداول ۴ و ۵ با رنگ قرمز مشخص شده‌اند.

سپس، فرضیه‌های زیر با استفاده از "آزمون مان-ویتنی یو[3]" (معادل ناپارامتری آزمون t برای نمونه‌های مستقل و با پیش‌فرض‌های ساده‌تر) آزمایش شدند (فراست[4]، ۲۰۰۳).

فرضیه ۱:

- H0: نسبت حداکثر/حداقل موجودی فروخته‌نشده به فروش کل با روش پیش‌بینی میانگین متحرک = نسبت حداکثر/حداقل موجودی فروخته‌نشده به فروش کل با پیش‌بینی شیب.
- H1: نسبت حداکثر/حداقل موجودی فروخته‌نشده به فروش کل با پیش‌بینی میانگین متحرک <> این نسبت با پیش‌بینی شیب.

فرضیه ۲:

- H0: نسبت حداکثر تقاضای برآورده نشده به فروش کل با پیش‌بینی میانگین متحرک = این نسبت با پیش‌بینی شیب.
- H1: نسبت حداکثر تقاضای برآورده نشده به فروش کل با پیش‌بینی میانگین متحرک <> این نسبت با پیش‌بینی شیب.

نتایج آزمون‌های آماری به شرح زیر است:

- با انجام تست مذکور، فرضیه اول با مقدار p=0.01 رد می‌شود. این نتیجه حاکی این حقیقت است که تغییر روش پیش‌بینی، نسبت حداکثر/حداقل موجودی فروخته‌نشده به فروش کل را به‌طور معناداری کاهش می‌دهد؛ اما تفاوت معناداری در تعداد فروشندگان آنلاینی که این حداکثر/حداقل در آن‌ها رخ می‌دهد وجود ندارد. فرضیه دوم نیز با مقدار p=0.001 رد شد. این نشان می‌دهد تغییر روش پیش‌بینی، نسبت حداکثر تقاضای برآورده نشده به فروش کل را به‌طور معناداری افزایش می‌دهد. وقتی شعاع پوشش فروشندگان آنلاین و سنتی یکسان

1. KISS, Keep It Simple Stupid.
2. Adam & Gaudou
3. The Mann-Whitney U Test
4. Frost

باشد، این نسبت به تعداد فروشندگان آنلاین وابسته نیست؛ اما در آزمایش‌هایی که شعاع پوشش خرده‌فروشان سنتی کمتر از فروشندگان آنلاین است، بیشترین نسبت تقاضای برآورده نشده زمانی رخ می‌دهد که تعداد فروشندگان آنلاین در حداقل باشد.

آزمایش‌ها نشان می‌دهند هرچند وجود حداکثر تعداد فروشندگان آنلاین در مدل منجر به نسبت موجودی فروخته‌نشده پایین‌تری می‌شود، اما روش پیش‌بینی تأثیر بیشتری بر سطح موجودی فروخته‌نشده دارد. این نشان می‌دهد حضور فروشندگان آنلاین و اطلاعات آن‌ها لزوماً تضمینی برای پیش‌بینی بهتر فروش نیست، بلکه خود روش پیش‌بینی فروش و شناسایی بازار می‌تواند سبب عملکرد بهتر تولیدکننده شود. توجه کنید بسیاری از تولیدکنندگان به روش‌های پیچیده دسترسی ندارند. در چنین مواردی، فروشندگان آنلاین بزرگ یا مراکز همکاری می‌توانند با ارائه اطلاعات بهتر به تولیدکنندگان کمک کنند. در ادامه به تأثیر اتصال فروشندگان آنلاین به تولیدکنندگان بر رشد/افول آن‌ها پرداخته خواهد شد. همان‌طورکه پیشتر نشان داده شد، روش پیش‌بینی فروش تولیدکنندگان نقشی کلیدی در نتایج دارد؛ بنابراین در برخی سناریوها، تمام تولیدکنندگان از روش شیب برای این پیش‌بینی استفاده کردند، در حالی در برخی دیگر از روش میانگین متحرک بهره بردند. در برخی آزمایش‌ها نیز روش‌های پیش‌بینی به‌صورت تصادفی به تولیدکنندگان اختصاص یافت. آزمایش‌ها تحت سه سناریوی اولیه متفاوت انجام شد: الف) زمانی که ظرفیت کل تولیدکنندگان یعنی توان تولید بیش از تقاضا بود. ب) زمانی که ظرفیت مذکور با تقاضا برابر بود. ج) زمانی که ظرفیت کمتر از تقاضا بود.

- در سناریوهای "الف" و "ب" (عرضه مساوی یا بیش از تقاضا)، بیشترین رشد در تمام آزمایش‌ها متعلق به تولیدکنندگان باکیفیت بالا بود که از روش شیب برای پیش‌بینی فروش استفاده کرده و به فروشندگان آنلاین متصل بودند (رشد ۵۰ تا ۱۲۰ درصدی). هرچه تعداد این تولیدکنندگان در شرایط اولیه بیشتر باشد، شانس موفقیت تولیدکنندگان با کیفیت کمتر صرف‌نظر از نوع خرده‌فروشی که به آن متصل هستند کاهش می‌یابد. این آزمایش اهمیت کیفیت را در رشد و ماندگاری بنگاه‌ها در شرایط رقابت نشان می‌دهد. اگر تقاضای برآورده نشده باقی بماند، تولیدکنندگان باکیفیت بالا (حتی اگر از طریق خرده‌فروشان سنتی فروش داشته باشند) در مدل باقی می‌مانند و رشد آن‌ها به سهمشان از تقاضای باقیمانده وابسته است. در مقابل، کمترین موفقیت متعلق به تولیدکنندگان با کیفیت پایین است که از روش میانگین متحرک استفاده می‌کنند.
- وقتی عرضه و تقاضا در شرایط اولیه برابر یا نزدیک به هم باشند، سیستم و میزان رشد تولیدکنندگان غیرقابل پیش‌بینی می‌شود. در این موارد، متوسط بیشترین رشد باز هم متعلق به تولیدکنندگان باکیفیت بالا و متصل به فروشندگان آنلاین است، درحالی‌که بیشترین افول متعلق به تولیدکنندگان کم‌کیفیت با روش میانگین متحرک و متصل به خرده‌فروشان سنتی است. محاسبات مبتنی بر نظریه آشوب بر داده‌های نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در این حالت، سیستم از حساسیت بالایی به شرایط اولیه برخوردار است. با استفاده از الگوریتم ولف (گلدریچ و

همکاران[1]، ۱۹۸۷) نمای لیاپانوف به میزان ۰,۰۳±۰,۱۲ محاسبه شد که وجود دینامیک آشوبی ضعیف را تأیید می‌کند. این بدان معناست که خطای پیش‌بینی در چنین شرایطی با نرخ نمایی رشد می‌کند.

-در سناریوی "ج" (عرضه کمتر از تقاضا): در این سناریو اگر تمام تولیدکنندگانی که از روش میانگین متحرک استفاده کرده به خرده‌فروشان سنتی متصل باشند، هیچ‌یک از فضای تولید حذف نشدند، اما رشد آن‌ها به بیش از ۱۰٪ نرسید و تقاضای برآورده نشده قابل توجهی وجود داشت؛ یعنی تولیدکنندگان با این روش در به تأمین نیازهای مشتری نمی‌رسند. تولیدکنندگان متصل به فروشندگان آنلاین (حتی با روش میانگین متحرک) بیش از ۱۰٪ رشد کردند و کالاهای منطبق‌تر با ترجیحات مشتری تولید نمودند، هرچند رشد آن‌ها به سطح تولید تولیدکنندگان متصل به فروشندگان آنلاین با روش شیب نمی‌رسد. اگر تمام تولیدکنندگان از روش شیب استفاده می‌کردند، تولیدکنندگان متصل به فروشندگان آنلاین ۵۰ تا ۱۰۰٪ رشد کردند و تقاضای مصرف‌کنندگان نیز بیشتر تأمین می‌شود. البته در مواردی (۳ آزمایش از ۵۰ آزمایش)، برخی تولیدکنندگان متصل به خرده‌فروشان سنتی، علیرغم شروع از شرایط کمبود عرضه، از بازار حذف شدند. در ترکیب روش‌ها، بیشترین رشد متعلق به تولیدکنندگان متصل به فروشندگان آنلاین با روش شیب، سپس تولیدکنندگان متصل به خرده‌فروشان سنتی با روش شیب بود. تفاوت معناداری بین تولیدکنندگان با روش میانگین متحرک (چه متصل به خرده‌فروشان سنتی یا آنلاین) وجود نداشت و فروش آن‌ها ثابت ماند یا کاهش یافت (۴۸ از ۵۰ آزمایش). در این سناریو، کیفیت تولیدکنندگان تأثیر معناداری بر ماندگاری آن‌ها پس از ۵۰ تیک شبیه‌سازی ندارد. باید ذکر کرد که یکی از دلایل این است که در مدل گرچه مصرف‌کنندگان کالای باکیفیت را ترجیح می‌دهند اما اثر آن بر عمر کالا و صرفه‌جویی مشتری لحاظ نشده است، گرچه این خود ممکن است به کاهش مصرف بیانجامد. دلیل دیگر نیز کمبود عرضه است که در نهایت سبب می‌شود مشتریان به کالاهای با کیفیت کمتر نیز رضایت دهند. بنابراین گرچه در بسیاری از مطالعات کیفیت محصول به‌عنوان یک عامل کلیدی در رقابت‌پذیری و بقای شرکت‌ها شناخته می‌شود. اما تحقیقات کلاسیکی مانند آثار تیس[2] و همکاران (۱۹۹۷ و ۲۰۰۷) بر اهمیت توانمندی‌های دینامیک تأکید دارند که در شرایط بازارهای پر تغییر بیشتر بر چابکی، سازگاری با فناوری و سرعت پاسخگویی به تقاضا تمرکز می‌کنند تا جنبه‌های ثابت مانند کیفیت محصول.

در مجموع، در این مدل‌سازی، اولین عامل تأثیرگذار بر رشد تولیدکنندگان، روش پیش‌بینی بازار و تقاضا است و صرف اتصال به فروشندگان آنلاین، عامل تعیین کننده برای رشد بنگاه نیست.

1. Goldhirsch *et al.*
2. Teece

بهترین ترکیب برای رشد زمانی حاصل می‌شود که با حصول داده‌های فروش باکیفیت از فروش الکترونیک روش‌های پیچیده‌تر پیش‌بینی آینده و بازار استفاده شود. این نتیجه با پژوهش‌هایی همسو است که بر اهمیت تحلیل داده‌های بلادرنگ[1] و همکاری با کانال‌های توزیع کارآمد (مانند خرده‌فروشان آنلاین) تأکید می‌کنند. این مدل همچنین پیچیدگی‌هایی را توضیح می‌دهد که بر اثر شرایط اولیه در مدل ایجاد می‌شود که تأییدکننده وابستگی به مسیر[2] در سیستم‌های پیچیده است؛ بنابراین سیاست‌های ذیل برای رشد تولیدی‌ها پیشنهاد می‌شود: الف) اشتراک‌گذاری داده‌های رضایت مشتری از طریق رابط برنامه‌نویسی کاربردی[3]، این رابط‌ها سبب تبادل بی‌وقفه داده‌ها برای ارتباط بین برنامه‌های مختلف خواهند شد و این امکان را می‌دهند که داده‌های رضایت مشتری به‌طور خودکار بین سیستم‌های شما یا با شرکای خارجی منتقل شود. ب) ارائه یارانه برای ابزارهای پیش‌بینی‌کننده ابری به بنگاه‌های کوچک و متوسط ازآنجایی‌که بنگاه‌های کوچک و متوسط معمولاً منابع مالی کافی برای سرمایه‌گذاری در ابزارهای پیش‌بینی پیشرفته ندارند. ابزارهای پیش‌بینی ابری با کاهش هزینه‌های زیرساخت فناوری اطلاعات، امکان دسترسی به فناوری‌های مدرن و دقیق، امکان تحلیل داده‌های بلادرنگ و استفاده از الگوریتم‌های پیش‌بینی پیچیده را فراهم می‌کنند.

بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادهای اجرایی

تجارت آنلاین می‌تواند با ارائه بینش‌های بلادرنگ از رفتار مشتریان و الگوهای فروش، دینامیک تولید را متحول می‌کند. این مطالعه با استفاده از مدل‌سازی مبتنی بر عامل و شبیه‌سازی تعاملات پیچیده بین بازار خرده‌فروشی، فرآیندهای تولید و ترجیحات مشتری، نشان می‌دهد که خرده‌فروشان الکترونیکی در چه صورت می‌توانند برای تولیدکنندگان ابزار باارزشی باشند. اگرچه این مدل در یک محیط انتزاعی اجرا شده است، پارامترهای آن (مانند نرخ دسترسی به اینترنت و ترجیحات مشتری) به‌راحتی با داده‌های واقعی جایگزین می‌شوند. این انعطاف، امکان استفاده از چارچوب حاضر را در مطالعات آینده با تمرکز بر مناطق خاص فراهم می‌کند. یافته‌ها مزایای قابل توجه خرده‌فروشان الکترونیکی را نشان می‌دهد، از جمله افزایش رضایت مشتری تا ۴۰ درصد در بسیاری از آزمایش‌ها، بهبود مدیریت کالاهای فروخته نشده تا ۳۰ درصد و رشد تولید و امکان تصمیم‌گیری مبتنی بر داده‌ها. بااین‌حال، این مزایا با چالش‌هایی همراه است. آزمایش‌های ما اهمیت

1. Real-time data
2. Path Dependency
3. Application Programming Interface (API)

اشتراک اطلاعات بین خرده‌فروشان الکترونیکی و تولیدکنندگان، همچنین روش‌های پیش‌بینی و شرایط اولیه که بر رشد یا کاهش تولیدکنندگان تأثیر می‌گذارند را نشان می‌دهد. نتایج تجربی نشان می‌دهد که تولیدکنندگان با کیفیت بالا که از روش‌های پیش‌بینی پیشرفته بر داده‌های مستخرج از خرده‌فروشان الکترونیک متصل با خود استفاده می‌کنند، بیشترین رشد را دارند، به ویژه هنگامی که عرضه بیشتر از تقاضا باشد. برعکس، تولیدکنندگان با کیفیت پایین که از روش‌های ساده‌تر برای ارزیابی بازار استفاده می‌کنند و از روش سنتی فروش بهره می‌برند، با بیشترین کاهش در فروش در شرایط تحول بازارها روبرو خواهند بود. مطالعه حساسیت به شرایط اولیه و وابستگی به مسیر را نشان می‌دهد که وقتی عرضه و تقاضا تقریباً برابر است پیش‌بینی میزان رشد به علت آشوب‌ناکی سیستم دارای خطای بالایی خواهد بود؛ بنابراین خرده‌فروشی الکترونیک تنها در صورتی تحول‌آفرین است که تولیدکنندگان به ابزارهای تحلیل پیشرفته و دانش بهینه‌سازی تولید مجهز باشند. در غیر این صورت، داده‌های ارزشمند آنلاین بدون استفاده می‌مانند، بنابراین برای رشد تولیدی‌های کوچک که قابلیت دسترسی به روش‌های دقیق‌تر را ندارند توسعه پلتفرم‌های اشتراک داده بین تولیدکنندگان و خرده‌فروشان آنلاین به منظور همکاری استراتژیک آن‌ها و تأمین بودجه برای سیستم‌های پیش‌بینی ابری با قابلیت تحلیل داده پیشنهاد می‌شود. ایجاد «مراکز اشتراک داده ملی» با هدف تسهیل تبادل امن اطلاعات بین تولیدکنندگان، خرده‌فروشان و نهادهای نظارتی، گام دیگری است که می‌تواند شکاف اطلاعاتی موجود در زنجیره ارزش را کاهش دهد. حمایت از فناوری‌های پیشرفته نیازمند طراحی سازوکارهای تشویقی است. ارائه یارانه یا وام‌های کم‌بهره برای خرید سامانه‌های پیش‌بینی تقاضا مبتنی بر هوش مصنوعی و کلان‌داده، به ویژه برای بنگاه‌های با محدودیت مالی، می‌تواند دقت پیش‌بینی تولید را افزایش دهد. برگزاری دوره‌های آموزشی رایگان با محوریت روش‌های تحلیل داده‌های بلادرنگ نیز به توانمندسازی تولیدکنندگان در تطابق پویا با نوسانات بازار کمک می‌کند.

این مدل ارزش شبیه‌سازی عامل بنیان را برای تحلیل و بررسی پرسش‌های مختلف نشان می‌دهد اما مانند همه مدل‌ها محدودیت‌هایی دارد، فرض‌های مدل که برای مصرف در نظر گرفته شده می‌تواند واقعی‌تر شود و زمان نیاز مجدد مصرف‌کنندگان به کیفیت تولید وابسته شود، همچنین ذائقه مصرف‌کننده می‌تواند توسط خرده‌فروشان و یا تولیدکنندگان رهبر جهت‌دهی شود. تقلید تولیدکنندگان از یکدیگر نیز در مدل در نظر گرفته نشده که می‌تواند نقش مهمی در رقابت ایجاد کند. واردات و عوامل مرتبط به آن نیز می‌تواند پیچیدگی‌های دیگری در مدل ایجاد کند.

سپاس‌گزاری: جناب آقای دکتر میرحسین موسوی برای راهنمایی‌های ارزشمندشان، و پژوهشکده مطالعات اقتصادی دانشگاه الزهرا برای همکاری و تأمین امکانات پژوهشی، صمیمانه سپاس‌گزاریم.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی: این مقاله با حمایت دانشگاه الزهرا در چارچوب برنامه پژوهشی پست دکتری تهیه شده است.

مشارکت نویسندگان: نویسنده اول: مدل‌سازی و جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها و نویسنده دوم در طراحی پژوهش و بازبینی انتقادی و ویرایش نهایی مشارکت داشته‌اند.

تعارض منافع: بر اساس اظهارنامه نویسندگان، در این مقاله هیچگونه تعارض منافعی وجود ندارد.

تعهد کپی رایت: نویسندگان تأکید می‌کنند که کلیه حقوق کپی رایت طبق تعهدات مقرر رعایت شده است.

References

Adam, C; & Gaudou, B. (2016). BDI agents in social simulations: a survey. *The Knowledge Engineering Review*, *31*(3), 207-238.

Albino, V; Carbonara, N; & Giannoccaro, I. (2007). Supply chain cooperation in industrial districts: A simulation analysis. *European Journal of Operational Research*, *177*(1), 261-280.

Bhandari, A. (2022). Book review: Sunil Gupta, Driving Digital Strategy: A Guide to Reimagining Your Business. *Vision*, *26*(2), 267-269.

Collins, A; Koehler, M; & Lynch, C. (2024). Methods that support the validation of agent-based models: An overview and discussion. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, *27*(1).

Steinbacher, M; Raddant, M; Karimi, F; Camacho Cuena, E; Alfarano, S; Iori, G; & Lux, T. (2021). Advances in the agent-based modeling of economic and social behavior. *SN Business & Economics*, *1*(7), 99.

Farmer, J. D; & Foley, D. (2009). The economy needs agent-based modelling. *Nature*, *460*(7256), 685-686.

Fischbach, K; Marx, J; & Weitzel, T. (2021). Agent-based modeling in social sciences. *J Bus Econ*, 91(9), 1263–1270.

Frost, J. (2003). *Mann Whitney U Test Explained*. https://statisticsbyjim.com/hypothesis-testing/mann-whitney-u-test/

Goel, M. (2023). The Impact of e-commerce on traditional retail: A comprehensive analysis of economic, social, and policy dimensions. *International Journal of Advanced Research*, *11*(1), 285-288.

Goldhirsch, I; Sulem, P.-L; & Orszag, S. A. (1987). Stability and Lyapunov stability of dynamical systems: A differential approach and a numerical method. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, *27*(3), 311-337.

Huang, M. H; & Rust, R. T. (2018). Artificial intelligence in service. *Journal of service research*, *21*(2), 155-172.

Jadhav, G. G; Gaikwad, S. V; & Bapat, D. (2023). A systematic literature review: digital marketing and its impact on SMEs. *Journal of Indian Business Research*, 15(1), 76-91.

Jannach, D; & Leitner, S. (2016). Agent-Based Modelling in E-Commerce. In F. Wall, S.-H. Chen, & S. Leitner (Eds.), *The Oxford Handbook of Agent-based Computational Management Science* (pp. 423-450). Oxford University Press.

Javaid, M; Haleem, A; Singh, R. P; Suman, R; & Gonzalez, E. S. (2022). Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability. *Sustainable Operations and Computers*, *3*, 203-217.

Lu, L; & Reardon, T. (2018). An Economic Model of the Evolution of Food Retail and Supply Chains from Traditional Shops to Supermarkets to E-Commerce. *American Journal of Agricultural Economics*, *100*(5), 1320-1335.

Matsui, K. (2016). Asymmetric product distribution between symmetric manufacturers using dual-channel supply chains. *European Journal of Operational Research*, *248*(2), 646-657.

Pu, X; Zhang, S; Ji, B; & Han, G. (2021). Online channel strategies under different offline channel power structures. *Journal of Retailing and Consumer Services*, *60*, 102479.

Qi, X; Chan, J. H; Hu, J; & Li, Y. (2020). Motivations for selecting cross-border e-commerce as a foreign market entry mode. *Industrial Marketing Management*, *89*, 50-60.

Sagar, S. (2024). The Impact Of Digital Transformation On Retail Management And Consumer Behavior. *Journal of Business and Management*, *26*(1), 06-14.

Tesfatsion, L. (2006). Chapter 16 Agent-Based Computational Economics: A Constructive Approach to Economic Theory. In L. Tesfatsion & K. L. Judd (Eds.), Handbook of Computational Economics (Vol. 2, pp. 831-880). Elsevier.

Teece, D. J. (2007). Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. *Strategic Management Journal*, *28*(13), 1319-1350.

Teece, D. J; Pisano, G; & Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, *18*(7), 509-533.

Vargová, L; Zibrínová, Ľ; & Baník, G. (2020). The way of making choices: Maximizing and satisficing and its relationship to well-being, personality, and self-rumination. *Judgment and Decision Making*, *15*(5), 798-806.

COPYRIGHTS

This license allows others to download the works and share them with others as long as they credit them, but they can’t change them in any way or use them commercially.