



پیکره بندی همزمان خانواده محصول و زنجیره تامین با استفاده از نظریه بازی رهبر-پیرو استاکلبرگ

میلااد پاکسرشت^۱

دکتری مهندسی صنایع- دانشگاه علوم و فنون مازندران

چکیده

خانواده محصول به مجموعه‌ای از محصولات متنوع با ماژول‌هایی مشابه گفته می‌شود که با رویکرد تولیدی مونتاژ بر اساس سفارش محقق می‌شوند و با توجه به تولید ماژول‌های این محصولات برای پوشش نیازمندی‌های متنوع مشتریان موثر است. طراحی خانواده محصول به واسطه رویکرد مونتاژ بر اساس سفارش نیازمند شبکه زنجیره تامین گسترده‌ای است و این گستردگی شبکه، هزینه‌های تامین و تولید محصول را افزایش می‌دهد. از این رو، طراحی خانواده محصول به منظور اثربخش بودن نیاز به هم زمان کردن پیکره بندی خانواده محصول با زنجیره تامین دارد. لذا این جا ما به پیکره بندی هم‌زمان خانواده محصول و زنجیره تامین با استفاده از نظریه بازی‌های رهبر-پیرو استاکلبرگ می‌پردازیم. سه تابع هدف در بازآرایی هم‌زمان خانواده محصول و زنجیره تامین با توجه به ساختار دوسطحی بازی استاکلبرگ در نظر گرفته می‌شوند: بیشینه سازی سود محصول، بیشینه‌سازی مطلوبیت مشتری و کمینه سازی هزینه‌های زنجیره تامین. برای حل مساله پیشنهادی، به کمک روش KKT می‌پردازیم و در پایان، نتایج مدیریتی ارائه می‌شوند.

واژگان کلیدی: خانواده محصول، زنجیره تامین، پیکره بندی هم‌زمان، نظریه بازی رهبر-پیرو استاکلبرگ

1- مقدمه

خانواده محصول^۲ به مجموعه‌ای از محصولات گفته می‌شود که بر اساس یک پایه^۳ مشترک طراحی شده است و ویژگی‌های روش تولیدی سفارشی و تولید انبوه را در بر دارد. قطعات و ماژول‌های بکاررفته در خانواده محصولات به دلیل استفاده از یک مبنا، شباهت‌هایی دارند. از نقطه نظر طراحی، دست یافتن به خانواده محصول در مقایسه با دست یافتن به یک محصول به مراتب پیچیده‌تر و مشکلات فنی بیشتری دارد. دلیل این موضوع را می‌توان در تنوع زیاد قطعات و ماژول‌هایی دانست که قرار است در محصولات خانواده محصول استفاده شوند. پیکره بندی خانواده محصول^۴ روشی موثر در پاسخ‌گویی به نیازهای متنوع مشتریان و دست‌یافتن به مزیت رقابتی در میان رقبا است (Jiao, Simpson et al. 2007). دلیل این مزیت رقابتی را می‌توان در کوتاه شدن زمان تولید محصولات و پاسخ‌گویی سریع به نیاز مشتریان و در نتیجه کاهش هزینه‌ها جستجو کرد (xiMa 2016).

¹milad_pakseresht@yahoo.com

² Product Family

³ Platform

⁴ Product Family Configuration



در طراحی خانواده محصول دو رویکرد ماژولار و رویکرد مقیاس شده، وجود دارند که هر یک از رویکردهای طراحی خانواده محصول با توجه به نوع محصول و صنعت مربوط قابلیت پیاده سازی دارد. در محیط‌هایی با تقاضاهای متنوع و نیازمندی‌های در حال تغییر، طراحی خانواده محصول با رویکرد ماژولار ۱ نسبت به رویکرد مقیاسی ۲ مفیدتر است. در رویکرد ماژولار، هر ماژول به صورت مستقل و جداگانه در کارخانجات طراحی و ساخته می شود و سپس برای مونتاژ به کارخانه مونتاژ نهایی ارسال می شود. به فرایند تولیدی که بر پایه مونتاژ است و بر اساس درخواست مشتری انجام می شود، مونتاژ بر اساس سفارش ۳ گفته می شود. در رویکرد مقیاسی محصولات در یک خانواده محصول، مقیاس شده بزرگ تر یا کوچک تر از محصول پایه هستند. در روش تولید بر مبنای رویکرد ماژولاریتی تمایل به افزایش هزینه‌ها به دلیل توزیع گسترده شبکه تامین کنندگان و تولیدکنندگان وجود دارد، و لذا نقش پیکره بندی زنجیره تامین در هزینه‌های محصول پررنگ می شود (Khalaf, Agard et al. 2011). این موضوع، لزوم هم‌زمان کردن پیکره بندی زنجیره تامین و پیکره بندی خانواده محصول را به صورت توأمان مشخص می‌سازد.

2- مبانی نظری و پیشینه تحقیق

با توجه به روند افزایش تقاضای مشتری و تنوع محصولات، شرکت‌ها و بنگاه‌ها از رویکرد تولید انبوه ۴ به رویکرد سفارشی سازی انبوه ۵ روی آورده‌اند. در رویکرد سفارشی سازی انبوه بیشتر توجهات در زنجیره تامین به سمت توانمندی‌های اصلی فعالیت‌ها معطوف بوده است و تخصصی سازی اهمیت پیدا می‌کند. نتایج نشان می‌دهند که شرکت‌هایی که به بحث بهینه‌سازی ساختار محصول در کنار ظرفیت‌های زنجیره تامین پرداختند به نتایج بهتری در مقایسه با شرکت‌هایی که صرفاً به مشخصه‌های محصول یا ساختار زنجیره تامین دست یافتند. سفارشی سازی بر مبنای تولید ماژولار سبب شده است تا شرکت‌ها به مدیریت زنجیره تامین توجه بیشتری داشته باشند (Cheng 2011). طراحی خانواده محصول زمانی موثر و کم هزینه تر است که زنجیره تامین محصولات در پیکره بندی خانواده محصول در نظر گرفته شود. نتایج پژوهش‌های انجام شده در خصوص هم‌زمانی طراحی خانواده محصول و زنجیره تامین نشان از کاهش حدود 25٪ هزینه‌ها را می‌دهد (Baud-Lavigne, Agard et al. 2016)، و این لزوم هم‌زمانی دو مساله PFC و SCC را در مراحل اولیه توسعه محصول با یکدیگر آشکار می‌سازد (Nepal, Monplaisir et al. 2012).

خانواده محصول به مجموعه‌ای از محصولات گفته می‌شود که بر اساس پایه مشترک طراحی می‌شود. طراحی خانواده محصولات به دلیل داشتن تنوع در محصولات و پایین بودن هزینه‌های تولید مورد توجه تولیدکنندگان قرار گرفته است. در گذشته، بیشتر شرکت‌های تولیدی ابتدا به طراحی خانواده محصولات که شامل انتخاب محصولات، ماژول‌ها، قطعات و این که این محصولات در خدمت چه بازارهایی هستند، پرداخته شد و سپس سامان دهی زنجیره تامین در نظر گرفته شد. در این حالت، طراحی خانواده محصول بدون در نظر گرفتن زنجیره تامین آنها خواهد بود. اما در پژوهش‌های انجام شده به این نتیجه رسیدند که در نظر گرفتن زنجیره تامین در طراحی محصولات موجب کاهش

- Modular Approach¹
- Scaling Approach²
- Assemble To Order³
- Mass Production⁴
- Mass Customization⁵



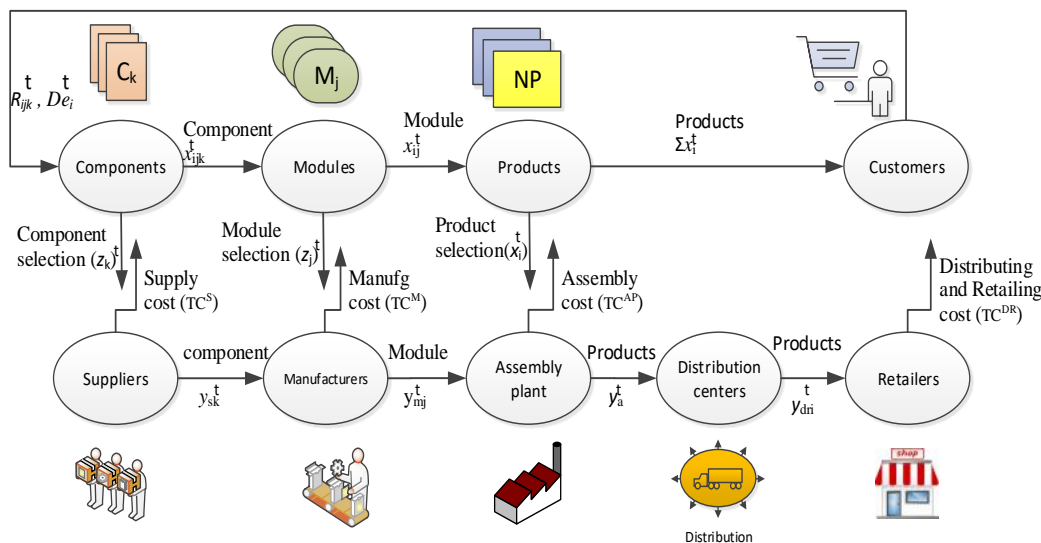
هزینه‌ها و پاسخ‌گویی سریع به نیازهای مشتری می‌شود و با کم شدن هزینه‌ها قدرت رقابت پذیری محصولات بالا می‌رود. لذا پرداختن هم‌زمان به طراحی خانواده محصول و زنجیره تامین ضروری به نظر می‌رسد. در بازی رهبر- پیرو ساختار تصمیم‌گیری از بازی استاکلبرگ نشات می‌گیرد به طوری که بر مبنای یک مساله بهینه‌سازی دوسطحی تشکیل می‌شود که در لایه‌ی بالایی، رهبر و در لایه‌ی پایینی یک یا تعدادی بیشتر مساله بهینه‌سازی تحت عنوان پیرو، تعریف می‌شوند (Stackelberg 1952). رهبر در این بازی جایگاه قدرتمندی در ساختار سلسله مراتبی تصمیم‌گیری دارد و پیرو نیز به صورت منطقی نسبت به رفتار رهبر پاسخ متناسبی می‌دهد (Gibbons 1992). بازی استاکلبرگ توسط برنامه‌ریزی دوسطحی به یک مدل ریاضی که شامل یک زیر مساله بهینه‌سازی در قسمت محدودیت‌هاست مدل سازی می‌شود.

بازی استاکلبرگ در بسیاری از زمینه‌ها از قبیل طراحی محصول و مدیریت نگهداری و تعمیرات Hernandez 2002، آگهی‌های تبلیغاتی (Aust 2012)، کنترل فرایندها (Shabde 2008) شبکه‌ها (van Hoesel 2008)، خرده فروشی در زنجیره تامین (Xiao, Choi et al. 2014) و (Esmaeili, Aryanezhad et al. 2009)، قراردادها (Chen, Zhang et al. 2012) به‌کار رفته است. با این وجود، کاربردهای کم‌تری از برنامه‌ریزی دوسطحی بازی استاکلبرگ در برنامه‌ریزی خانواده محصول و زنجیره تامین صورت گرفته‌اند.

3- روش‌شناسی تحقیق

به منظور بیان روش تحقیق به بررسی جزئی‌تر ارتباط بین دو مساله برای پیکره بندی هم‌زمان آنها می‌پردازیم، که این ارتباط در شکل 1 به نمایش گذاشته شده است. این ارتباط به واسطه ارتباط سلسله مراتبی بین دو مساله با به‌کارگیری نظریه بازی استاکلبرگ نمایش داده شده است. شروع بازی استاکلبرگ توسط خانواده محصول است. سپس زنجیره تامین به تصمیمات گرفته شده در سطح PF پاسخ می‌دهد. با اعلام نیازمندی‌های مشتری (کمیت یا میزان تقاضا، De_i^t ، و کیفیت یا الزامات درخواستی مشتری، R_{ijk}^t) در لایه خانواده محصول، قطعات (z_k^t) انتخاب می‌شوند. قطعات انتخاب شده به عنوان ورودی در لایه‌ی زنجیره تامین، قسمت تامین کنندگان است تا براساس آن تامین کنندگان انتخاب شوند. با انتخاب تامین کنندگان، هزینه تامین (TCS) به سطح خانواده محصول برگشت داده می‌شود. با توجه به قطعات انتخاب شده، ماژول‌های مورد نظر و سپس کارخانجات ساخت این ماژول‌ها انتخاب شده و هزینه‌های ساخت ماژول‌ها (TCM) به سطح خانواده محصول فرستاده می‌شوند. برای مونتاژ ماژول‌ها و ساخت محصول نهایی از بین کارخانجات مونتاژ یک کارخانه مونتاژ انتخاب می‌شود و با توجه به هزینه مونتاژ (TCAP)، این هزینه به سطح خانواده محصول فرستاده می‌شود.

محصولات تولید شده در کارخانه مونتاژ برای تحویل به مشتریان به مراکز توزیع و خرده فروشی منتقل می‌شوند و هزینه‌های مراکز توزیع و خرده فروشی (TCDR) به سطح خانواده محصول ارسال می‌شود. بر مبنای کل هزینه‌های ارسالی از زنجیره تامین به سطح خانواده محصول که شامل هزینه‌های تامین، تولید، مونتاژ و توزیع و خرده فروشی است، خانواده محصول به انتخاب‌های صورت گرفته در زنجیره تامین پاسخ می‌دهد و این تعاملات بین دو لایه تا رسیدن به جواب قابل قبول تکرار می‌شود.



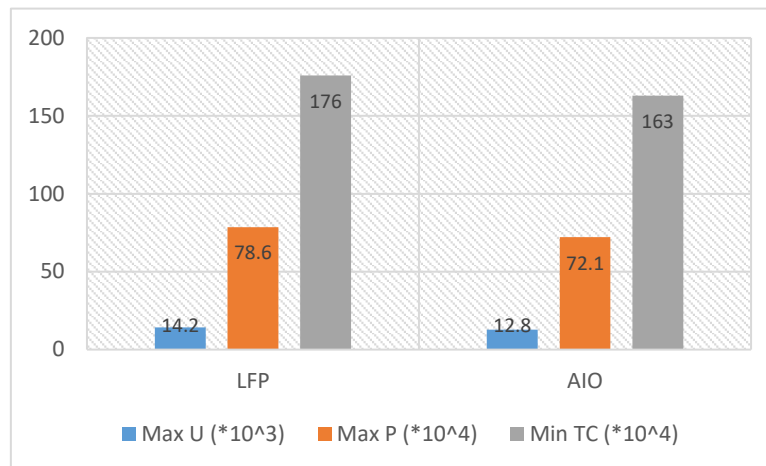
شکل 1- تعاملات بین دو سطح خانواده محصول و زنجیره‌ی تامین

4- مدل سازی و روش حل

5- نتیجه گیری و پیشنهادات

همان‌طور که پیش‌تر در فصل‌های قبلی اشاره شد، دو رویکرد برای بررسی طراحی هم‌زمان خانواده محصول و زنجیره تامین وجود دارند: رویکرد سلسله‌مراتبی که در این پژوهش منظور استفاده از نظریه رهبر-پیرو بازی (LFP) استاکلیبرگ است، و دیگری رویکرد همه‌در یکی (AIO). لذا این‌جا به بررسی نتایج مدل سازی این دو رویکرد می‌پردازیم. آزمایش‌های انجام شده بر روی مساله پیکره‌بندی هم‌زمان دو مساله PF و SC با استفاده از دو رویکرد نظریه‌ی بازی رهبر-پیرو (LFP) و رویکرد همه‌در یکی (AIO) ارائه شده‌اند. همان‌طور که در شکل 2 مشاهده می‌شود، مطلوبیت مربوط به بازآرایی خانواده‌ی محصول با استفاده از رویکرد LFP حدود 10.9٪ در مقایسه با رویکرد AIO بهتر است. همچنین، سود حاصل از رویکرد LFP تقریباً 9٪ بیشتر از سود حاصل از رویکرد AIO است.

Leader-Follower Play¹



شکل 2- مقایسه‌ی نتایج بدست آمده از رویکرد برنامه‌ریزی دوسطحی LFP و AIO

منابع

- Aust, G. B., Udo (2012). "Vertical cooperative advertising and pricing decisions in a manufacturer–retailer supply chain: A game-theoretic approach." European Journal of Operational Research **223**(2): 10.
- Baud-Lavigne, B., et al. (2016). "Simultaneous product family and supply chain design: An optimization approach." International Journal of Production Economics **174**: 111-118.
- Chen, J., et al. (2012). "Implementing coordination contracts in a manufacturer Stackelberg dual-channel supply chain." Omega **40**:583-571 :(5)
- Cheng, L.-C. V. (2011). "Assessing performance of utilizing organizational modularity to manage supply chains: Evidence in the US manufacturing sector." International Journal of Production Economics **131**(2): 10.
- Esmaeili, M., et al" (2009) .A game theory approach in seller–buyer supply chain." European Journal of Operational Research **195**(2): 442-448.
- Gibbons, R. (1992). Game Theory for Applied Economists, Princeton University Press.
- Jiao, J., et al. (2007). "Product family design and platform-based product development: a state-of-the-art review." Journal of Intelligent Manufacturing **18**(1): 5-29.
- Khalaf, R. E. H., et al. (2011). "Simultaneous design of a product family and its related supply chain using a Tabu Search algorithm." International Journal of Production Research **49**(19): 5637-5656.
- Nepal, B., et al. (2012). "Matching product architecture with supply chain design." European Journal of Operational Research **216**(2): 312-325.
- Shabde, V. S., Hoo, K.A (2008). "Optimum controller design for a spray drying process. ." Control Engineering Practice **16**(5): 12.



Stackelberg, H. v. (1952). The theory of the market economy. London, William Hodge.

van Hoesel, S. (2008). "An overview of Stackelberg pricing in networks." European Journal of Operational Research **189**(3): 1393-1402.

Xiao, T., et al. (2014). "Product variety and channel structure strategy for a retailer-Stackelberg supply chain." European Journal of Operational Research **233**(1): 114-124.

xiMa, S. D., Gang Jiao, Jianxin Zhang, Ruchuan (2016). "Hierarchical game joint optimization for product family-driven modular design." Journal of the Operational Research Society **67**(12): 1496-1509.

چکیده انگلیسی

Joint Configuration of Product Family and Supply Chain using Leader-Follower Stakelberg Game Theory

This article deals with product Family based on assembling to order (ATO) approach to cover diverse customer needs. In this article aims to apply Leader-Follower Stackelberg Game Theory in order to present a joint configuration of PF and SC based on three objectives: maximizing the total profit, maximizing customer utility and minimizing the supply chain cost in a bi-level structure. Maximizing the total profit and maximizing customer utility are the two objectives of the Leader problem for product family configuration, which results in the optimal selection of components, modules, and product variants. The lower level of this problem intends to configure the supply chain with the objective of minimizing the supply chain costs, and therefore, to reach the optimal selection of suppliers, manufacturers, assembly plant, distribution centers, and retailers. A KKT approach used to solve the proposed model. Finally, results in some managerial implications are obtained through sensitivity analysis.

Keyword: Product Family, Supply Chain, Joint Configuration, Leader-Follower Stakelberg Game theory