

# هماهنگ‌سازی زنجیره تأمین دوسطحی با تقاضای احتمالی به‌وسیله قرارداد پاداش فروش اصلاح‌شده با رویکرد هم‌زمان تنبیه و پاداش

جواد اصل نجفی<sup>۱</sup>، جعفر حیدری<sup>۳\*</sup>

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه تهران
۲. دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه علم و صنعت ایران
۳. استادیار دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۹۴/۰۳/۱۰، تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده: ۹۵/۰۳/۰۶، تاریخ تصویب: ۹۵/۰۹/۱۳)

## چکیده

در این مقاله، یک زنجیره تأمین غیرمتمرکز دوسطحی متشکل از یک تأمین‌کننده و یک خرده‌فروش با وجود تقاضای احتمالی بازار بررسی می‌شود. مدل ارائه‌شده در این مقاله، به‌دنبال هماهنگ‌سازی تصمیم‌های مربوط به اندازه سفارش خرده‌فروش است؛ به‌طوری‌که در عین افزایش سودآوری زنجیره غیرمتمرکز به حد حالت متمرکز، سود هر دو عضو زنجیره را به مقداری بیش از حالت غیرمتمرکز برساند. هدف مدل این است که در عین دستیابی به سود بیشینه برای کل زنجیره تأمین، هریک از اعضا نیز انگیزه کافی برای رهاکردن تصمیم‌های حالت غیرمتمرکز و پیوستن به طرح را داشته باشند. با در نظر گرفتن ویژگی‌های مورد بررسی زنجیره تأمین، از نوعی از قرارداد به نام «جریمه و پاداش فروش» استفاده شده است که هم‌زمان هر دو رویکرد تنبیه و پاداش را برای هماهنگ‌سازی زنجیره دارد و یک رویکرد حل جدید مبنی بر تعیین پارامترهای قرارداد با در نظر گرفتن دیدگاه‌های خرده‌فروش و تأمین‌کننده ارائه داده است. در نهایت، مطالعات عددی ارائه می‌شود و روی پارامتر مربوط به نوسانات تقاضا، تحلیل حساسیت انجام می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد مدل ارائه‌شده، به‌خوبی قابلیت هماهنگ‌سازی اندازه سفارش‌ها را در زنجیره تأمین دارد.

**واژه‌های کلیدی:** آستانه پرداخت پاداش، تصمیم‌گیری غیرمتمرکز، قرارداد جریمه و پاداش فروش، هماهنگ‌سازی زنجیره تأمین.

## مقدمه

تشویق اعضا و اتخاذ تصمیم‌های هماهنگ و همسو با اهداف کلان زنجیره تأمین، ضروری به‌نظر می‌رسد. هماهنگ‌سازی زنجیره‌های تأمین و ارائه طرح‌های انگیزشی، به‌طور معمول در قالب قراردادها اجرا می‌شوند. قراردادهای رایج در ادبیات موضوع عبارت‌اند از: تسهیم درآمد<sup>۱</sup>، تخفیف مقداری<sup>۲</sup>، بازخرید<sup>۳</sup>، تأخیر در پرداخت<sup>۴</sup>، انعطاف مقداری<sup>۵</sup>، پاداش فروش<sup>۶</sup> و ...<sup>۷</sup>

تفاوت عمده قرارداد پاداش فروش با سایر قراردادها این است که این قرارداد، بیشتر روی مقدار کالای به‌فروش رسیده مانور می‌دهد، نه مقدار سفارش از عضو بالادستی. از این‌رو این قرارداد، از سایر قراردادها به‌خصوص تخفیف مقداری کارا تر خواهد بود، زیرا انگیزشی مستقیم برای خرده‌فروش‌ها در جهت فروش بیشتر ایجاد می‌کند [۲]. قرارداد پاداش فروش که در این مقاله به آن توجه می‌شود، بیشتر در

به‌طور کلی بزرگ‌ترین مشکل در بحث مدیریت زنجیره تأمین، مدیریت اعضای مجزا، اما وابسته به هم در یک زنجیره است. در این حالت، برای دستیابی به یک زنجیره تأمین کارا باید اعضای زنجیره به‌صورت یک کل واحد و منسجم رفتار کنند که این حالت، تصمیم‌گیری متمرکز<sup>۱</sup> در زنجیره تأمین نامیده می‌شود، اما در واقعیت اغلب با زنجیره‌های تأمین غیرمتمرکز<sup>۲</sup> روبه‌رو هستیم که هریک از اعضا در راستای بهینه‌سازی اهداف داخلی خود، صرف‌نظر از اهداف سایر اعضای زنجیره، تصمیم‌هایی اتخاذ می‌کنند [۱]. در چنین ساختاری، برخلاف ساختار متمرکز که تصمیم‌گیرنده واحد به‌دنبال بهینه‌سازی سودآوری زنجیره است، هریک از اعضا در پی بهینه‌سازی سودآوری خود هستند؛ بنابراین، دستیابی به یک سازوکار هماهنگی برای

سفارش خرده‌فروش، از یک قرارداد پاداش فروش اصلاح‌شده استفاده می‌کند که برای فروش بیشتر از آستانه، پاداش و برای فروش کمتر از آستانه، جریمه در نظر می‌گیرد. در واقع، مدل هماهنگی در این مقاله، هم رویکرد تشویقی و هم رویکرد تنبیهی دارد. به علاوه در این مقاله، برای نخستین بار رویکرد تعیین مقادیر بهینه پارامترهای قرارداد جریمه و پاداش فروش، از دو دیدگاه خرده‌فروش و تأمین‌کننده بررسی شده است. براساس رویکرد پیشنهادی، این امکان وجود دارد که بازه امکان‌پذیر برای پارامترهای قرارداد تعیین شود. براساس روش پیشنهادی، حد پایین آستانه پرداخت پاداش، از دیدگاه تأمین‌کننده و حد بالای آن، از دیدگاه خرده‌فروش قابل‌محاسبه خواهد بود؛ به نحوی که هر دو عضو خرده‌فروش و تأمین‌کننده، از مشارکت در طرح پیشنهادی منافع بیشتری کسب کنند.

### پیشینه پژوهش

به‌طور کلی، در زنجیره‌های تأمین غیرمتمرکز باید چند طرح عملیاتی به‌وسیله طرح‌های انگیزشی برای تقسیم عادلانه منافع کسب‌شده به‌وسیله اعضا اجرا شوند. در این صورت، مشارکت تمامی اعضای زنجیره در فرایند هماهنگ‌سازی تضمین خواهد شد [۴]. در مدل‌های هماهنگی، افزایش سود کل زنجیره در حالت غیرمتمرکز، به اندازه سود زنجیره در حالت متمرکز و تقسیم منصفانه سود حاصل‌شده بین اعضای زنجیره، برای تشویق آن‌ها و شرکت در هماهنگی، به‌عنوان دو اصل اساسی مطرح می‌شود [۱۰]. لی و وانگ [۴] مدل‌های هماهنگی را بر مبنای ساختارهای تصمیم‌گیری، به دو دسته متمرکز و غیرمتمرکز و بر مبنای ماهیت تقاضا به دو دسته کلی قطعی و تصادفی تقسیم‌بندی کردند و بر مبنای مطالعات خود نتیجه گرفتند که هماهنگی زنجیره‌های تأمین غیرمتمرکز با تقاضای غیرقطعی، از اهمیت ویژه‌ای در مطالعات آتی برخوردار است. کاجون [۱] در سال ۲۰۰۳ ادبیات زنجیره تأمین را به‌وسیله قراردادهای در حوزه مدیریت تعارض‌های انگیزشی گسترش داد و مطالعه کرد و رفتار بهینه زنجیره را در تعدادی از مدل‌های قراردادی تعیین کرد. در سال‌های اخیر، مطالعات زیادی در حوزه هماهنگی زنجیره تأمین صورت گرفته است و تعداد زیادی از انواع قراردادهای بررسی

صنایع نرم‌افزار، سخت‌افزار و خودرو کاربرد دارد؛ برای مثال، در سال ۱۹۹۶، شرکت‌های کامپک (Compaq)، اچ‌پی (HP) و آی‌بی‌ام (IBM) تصمیم به پیاده‌سازی طرح تشویقی تخصیص پاداش به مقدار فروش به بازار گرفتند. به‌علاوه شرکت‌های مایکروسافت و ناول (Novell)، به‌ترتیب طرح پاداش ۳ و ۵ درصد را در صنعت نرم‌افزار پیاده کردند. یک سال بعد، شرکت‌های لوتوس (Lotus) و سیمانتک (Symantec) به‌عنوان سازندگان نرم‌افزار، از طرح پاداش فروش بهره گرفتند. از سوی دیگر، در صنعت خودرو، تعدادی از خودروسازان مشهور دنیا از جمله فورد، مزدا، تویوتا و... از طرح تشویقی پاداش فروش استفاده کردند [۳].

در این مقاله، هماهنگ‌سازی زنجیره تأمین غیرمتمرکز تحت قرارداد پاداش فروش اصلاح‌شده<sup>۱</sup> مطالعه شده است. منظور از قرارداد پاداش فروش اصلاح‌شده این است که برای اصلاح و تکمیل قرارداد پاداش فروش سنتی به‌منظور ایجاد انگیزش بیشتر در خرده‌فروش و افزایش مقدار فروش، تغییراتی ایجاد شده است. در قرارداد پاداش فروش اصلاح‌شده که آن را با عنوان قرارداد «جریمه و پاداش فروش»<sup>۱</sup> معرفی می‌کنیم، تأمین‌کننده به‌زای سفارش‌های بیشتر از یک مقدار آستانه، مقدار پاداش مشخصی را به خرده‌فروش می‌دهد و به‌زای فروش کمتر از همان آستانه، مقداری برابر با مقدار پاداش را به‌عنوان جریمه به خرده‌فروش تحمیل می‌کند. هر دو رویکرد تشویقی و تنبیهی مورد نظر برای خرده‌فروش، اهداف یکسان افزایش مقدار فروش را برای خرده‌فروش در پی دارد که در ادامه، به افزایش مقدار سفارش منجر می‌شود. با افزایش مقدار سفارش از جانب خرده‌فروش، سود کل زنجیره نسبت به حالت تصمیم‌گیری غیرمتمرکز افزایش می‌یابد. علی‌رغم کارایی بالای قرارداد پاداش فروش، در ادبیات موضوع چندان به آن پرداخته نشده و مطالعات بسیار ناچیزی در مورد آن صورت گرفته است. از سوی دیگر، مطالعاتی که از این قرارداد استفاده کرده‌اند، تاکنون اقدامی درباره اصلاح خود قرارداد پاداش فروش سنتی انجام نداده‌اند؛ بلکه اغلب برای هماهنگ‌سازی زنجیره‌هایی که این قرارداد به‌تنهایی قادر به هماهنگ‌سازی آن نیست، قرارداد ترکیبی با بازخورد را ارائه کرده‌اند؛ بنابراین، این مطالعه برای نخستین بار به‌منظور هماهنگ‌سازی تصمیم‌های مربوط به اندازه

شده‌اند، از جمله قرارداد بازخرید [۱۱، ۱۲]، قرارداد تسهیم درآمد [۱۳، ۱۴]، قرارداد تخفیف مقداری [۱۵، ۱۶]، قرارداد انعطاف مقداری [۱۷، ۱۸]، قرارداد پاداش فروش [۲، ۳، ۱۹] و ...

جدول ۱. خلاصه پژوهش‌های بررسی‌شده

مرجع	نوع قرارداد پاداش فروش	قرارداد مکمل پاداش فروش	اعمال دیدگاه خرده‌فروش و تأمین‌کننده	محیط رقابتی	متغیر تصمیم
[۳]	پاداش فروش ترکیبی	قرارداد بازخرید	×	×	مقدار سفارش تلاش فروش
[۵]	پاداش فروش سنتی	×	×	×	مقدار سفارش
[۲]	پاداش فروش سنتی	×	×	√	مقدار سفارش قیمت خرده‌فروشی
[۶]	پاداش فروش ترکیبی	قرارداد بازخرید	×	×	مقدار سفارش قیمت خرده‌فروشی تلاش فروش
[۷]	پاداش فروش سنتی	×	×	×	مقدار سفارش قیمت عمده‌فروشی تلاش فروش
[۸]	پاداش فروش ترکیبی	قرارداد بازخرید	×	×	مقدار سفارش قیمت خرده‌فروشی
[۹]	پاداش فروش سنتی	×	×	√	مقدار سفارش تلاش فروش
این مقاله	پاداش فروش اصلاح‌شده	×	√	×	مقدار سفارش

کردند و هماهنگی این زنجیره را در قراردادهای پاداش فروش و بازخرید مطالعه کردند. چپو و همکاران [۸] قرارداد پاداش فروش را در هماهنگ‌سازی یک زنجیره تأمین، با تقاضای وابسته به قیمت خرده‌فروشی بررسی کردند و قرارداد مکمل بازخرید را برای ایجاد هماهنگی به‌کار گرفتند. هووانگ و همکاران [۱۹] عملکرد زنجیره تأمین را در شرایطی که به‌دلیل قطعیت‌نداشتن ارزش محصول دریافتی، امکان بازگشت محصول از جانب مشتریان وجود دارد، بررسی کردند و تأثیر بازار دوم بر هماهنگی زنجیره تأمین به‌وسیله قراردادهای بازخرید و پاداش فروش را مطالعه کردند. درنهایت، حیدری و اصل‌نجفی [۲۰] هماهنگ‌سازی هم‌زمان تصمیم‌های بهینه مربوط به مقدار سفارش را به‌وسیله قرارداد پاداش فروش - به‌طوری‌که اعضای زنجیره به شرایط برد-برد دست پیدا کنند - بررسی کردند.

تیلور [۳] ثابت کرد در صورت وابسته‌بودن تقاضا به تلاش فروش، قراردادهای پاداش فروش خطی و هدف، به‌صورت جداگانه قادر به ایجاد هماهنگی در زنجیره نیستند و برای ایجاد هماهنگی، ترکیب قراردادهای پاداش فروش هدف و بازخرید ضرورت دارد. وونگ و همکاران [۲] تأثیر قرارداد پاداش فروش را در ایجاد هماهنگی در یک زنجیره تأمین دوسطحی، متشکل از یک تأمین‌کننده و چند خرده‌فروش - که دارای مدل موجودی VMI است - بررسی کردند. هی و همکاران [۶] هماهنگی زنجیره تأمین را در حالت مواجهه با تقاضای تصادفی که به تلاش فروش و قیمت خرده‌فروشی وابسته است، مطالعه کردند و نشان دادند که قرارداد ترکیبی پاداش فروش و بازخرید، با مفروضات بیان‌شده قادر به هماهنگ‌سازی زنجیره تأمین خواهد بود. تیلور و شیائو [۵] امکان افزایش آگاهی از تقاضای بازار به‌وسیله پیش‌بینی‌های خرده‌فروشان را بررسی

است و بالانویس *RSR* قرارداد پاداش فروش اصلاح شده را نشان می‌دهد.

### مدل سازی ریاضی

شکل ۱ شمای کلی زنجیره تأمین مورد بررسی در این مقاله را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱، زنجیره تأمین دوسطحی تک کالایی متشکل از یک تأمین کننده و یک خرده فروش در نظر گرفته شده است. تقاضا در این زنجیره، دارای توزیع احتمالی نرمال با میانگین و واریانس معلوم است. همه محصولات، هزینه تولید مشخصی در سایت تأمین کننده دارند. تأمین کننده، محصولات تولید شده را با قیمت عمده فروشی به خرده فروش می‌دهد و در نهایت، خرده فروش محصولات دریافتی را با قیمت مشخص خرده فروشی به فروش می‌رساند. در این مدل، تمامی هزینه‌های کمبود و نگهداری در انتهای دوره برعهده خرده فروش است و محصولات مازاد، ارزش اسقاطی مشخصی دارند. در مدل ارائه شده مبتنی بر قرارداد جریمه و پاداش فروش، برای ایجاد انگیزه در خرده فروش و افزایش میزان سفارش، به ازای هر واحد فروش بیشتر از یک مقدار خاص، پاداشی از جانب تأمین کننده برای خرده فروش در نظر گرفته می‌شود و از طرف دیگر، برای هر واحد فروش کمتر از آستانه، خرده فروش موظف است جریمه‌ای معادل مقدار پاداش را به تأمین کننده پرداخت کند. هدف اصلی در مسئله ارائه شده در این مقاله این است که مقدار سود کل زنجیره، به حالت تصمیم‌گیری متمرکز ارتقا یابد و در عین حال، سود هریک از اعضا تحت قرارداد جریمه و پاداش فروش، به مقداری بزرگ تر یا مساوی با حالت تصمیم‌گیری غیر متمرکز برسد.

به طور کلی، سلسله‌اتفاقاتی که در مدل مطرح شده رخ می‌دهند، به صورت زیر هستند:

۱. تأمین کننده، قرارداد جریمه و پاداش فروش را برای دوره فروش پیش رو به خرده فروش پیشنهاد می‌دهد.
۲. خرده فروش با توجه به اینکه از قرارداد پیشنهادی اطلاع دارد، مقدار سفارش بهینه را مشخص می‌کند.
۳. تأمین کننده مقدار سفارش داده شده را پیش از شروع دوره فروش تولید می‌کند و به خرده فروش تحویل می‌دهد.

در این مقاله، رویکرد هماهنگ سازی زنجیره تأمین، به کمک قرارداد پاداش فروش اصلاح شده با عنوان قرارداد جریمه و پاداش فروش مطرح می‌شود که مطابق جدول ۱، در ادبیات موضوع به آن پرداخته نشده و تنها قرارداد پاداش فروش سنتی، به صورت ترکیبی با قراردادهای دیگر مطالعه شده است. همان گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، برخلاف مطالعات صورت گرفته در این حوزه، روش جدیدی برای تعیین مقادیر بهینه پارامترهای قرارداد جریمه و پاداش فروش در این مقاله اتخاذ شده است؛ به گونه‌ای که با استفاده از دو دیدگاه خرده فروش و تأمین کننده می‌توانیم حد پایین و بالا را برای این پارامترها به دست آوریم.

### نمادگذاری مفروضات

نمادهای استفاده شده در مقاله عبارت‌اند از:

#### پارامترها

$p$	قیمت خرده فروشی هر واحد محصول
$w$	قیمت عمده فروشی هر واحد محصول
$c$	هزینه تولید هر واحد محصول در سایت تأمین کننده
$s$	ارزش اسقاطی هر واحد محصول باقی مانده در انتهای دوره در سایت خرده فروش
$h$	هزینه نگهداری هر واحد محصول باقی مانده در انتهای دوره در سایت خرده فروش
$b$	هزینه هر واحد کمبود در سایت خرده فروش
$\mu$	میانگین تقاضا
$\sigma$	انحراف معیار تقاضا
$x$	متغیر تصادفی معرف مقدار تقاضای بازار دارای توزیع احتمالی نرمال $f(x)$ با میانگین و واریانس معلوم

#### متغیرها

$T$	آستانه پرداخت جریمه و پاداش
$u$	مقدار پاداش اختصاص یافته از جانب تأمین کننده به خرده فروش برای هر واحد فروش بیشتر از آستانه و مقدار جریمه پرداختی از جانب خرده فروش به تأمین کننده برای هر واحد فروش کمتر از آستانه
$q$	مقدار سفارش خرده فروش از تأمین کننده

شایان ذکر است که پایین نویسی های  $S$ ،  $R$  و  $SC$  در هر نماد به ترتیب بیانگر خرده فروش، تأمین کننده و کل زنجیره

خرده‌فروش است. در ضابطه دوم رابطه (۱)، جمله اول هزینه پرداختی به تأمین‌کننده از جانب خرده‌فروش، جمله دوم درآمد عایدی از فروش به بازار در سایت خرده‌فروش و جمله سوم هزینه کمبود ناشی از برآورده‌نشدن تقاضای بازار در انتهای دوره را در سایت خرده‌فروش نشان می‌دهد. در نتیجه، سود مورد انتظار خرده‌فروش به شکل زیر بیان می‌شود:

$$E(\Pi_R(q)) = (p-w)q + (s-h-p) \times \int_0^q (q-x)f(x)dx - b \int_q^\infty (x-q)f(x)dx \quad (2)$$

**قضیه ۱.** تابع سود خرده‌فروش نسبت به متغیر تصمیم  $q$  مقعر است و مقدار بهینه  $q$  از دیدگاه خرده‌فروش به صورت رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$\frac{\partial \Pi_R}{\partial q} = 0 \Rightarrow (p-w+b) + (s-h-p-b)F(q) = 0 \quad (3)$$

$$\Rightarrow q_R = F^{-1}\left(\frac{p-w+b}{p+h+b-s}\right)$$

**اثبات قضیه ۱.** برای اثبات تقعر تابع سود خرده‌فروش نسبت به  $q$  داریم:

$$\frac{\partial \Pi_R}{\partial q} = (p-w+b) + (s-h-p-b)F(q) \quad (4)$$

$$\Rightarrow \frac{\partial^2 \Pi_R}{\partial q^2} = (s-h-p-b)f(q) < 0$$

در نتیجه، شرط اول بهینگی، مقدار  $q$  بهینه را حاصل می‌کند. ■

در حالت غیرمتمرکز، سود تأمین‌کننده به مقدار تقاضا وابستگی ندارد و به صورت زیر بیان می‌شود:

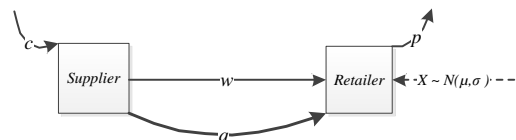
$$\Pi_S = (w-c)q \quad (5)$$

هدف اصلی تأمین‌کننده از پیشنهاد قرارداد جریمه و پاداش فروش به خرده‌فروش، همه‌انگ‌سازی زنجیره و بیشینه‌سازی سود کل زنجیره است. از این‌رو، ما مدل‌سازی حالت تصمیم‌گیری متمرکز را هم در نظر گرفته‌ایم که در آن، تأمین‌کننده بر خرده‌فروش احاطه کامل دارد و دیدگاهی کل‌نگر حاکم است. حل بهینه مدل تحت این نوع تصمیم‌گیری، خط‌مشی بهینه برای کل مسئله را فراهم می‌سازد.

سود زنجیره تأمین، تحت تصمیم‌گیری متمرکز به صورت زیر خواهد بود:

۴. دوره فروش آغاز می‌شود و خرده‌فروش تقاضای بازار را برآورده می‌کند.

۵. بر مبنای قرارداد توافق‌شده، مقادیر فروش بیشتر از حد آستانه، مشمول دریافت پاداش توافق‌شده از سوی تأمین‌کننده و مقادیر فروش کمتر از حد آستانه، مشمول پرداخت جریمه به تأمین‌کننده از سوی خرده‌فروش خواهد بود.



شکل ۱. زنجیره تأمین دوسطحی متشکل از یک تأمین‌کننده و یک خرده‌فروش

### ساختارهای تصمیم‌گیری: ساختار متمرکز در مقابل غیرمتمرکز

در یک زنجیره غیرمتمرکز، تأمین‌کننده و خرده‌فروش به‌طور مستقل از هم رفتار می‌کنند و هر یک از اعضا سعی می‌کنند تا سود مورد انتظار خود را بیشینه کنند. وانگ [۲۱] نشان داد که بدون ایجاد هماهنگی در زنجیره تأمین، خرده‌فروش همواره مقداری کمتر از مقدار بهینه سفارش کل زنجیره سفارش می‌دهد. به همین ترتیب، سود کل زنجیره در حالت غیرمتمرکز کمتر از حالت متمرکز خواهد بود؛ بنابراین، تأمین‌کننده برای تشویق خرده‌فروش برای سفارش بیشتر، قرارداد جریمه و پاداش فروش را پیشنهاد می‌کند.

سود خرده‌فروش، تحت تصمیم‌گیری غیرمتمرکز به صورت زیر خواهد بود:

$$\Pi_R(q) = \begin{cases} -wq + px + (s-h)(q-x), & x < q \\ -wq + pq - b(x-q), & x \geq q \end{cases} \quad (1)$$

در ضابطه اول رابطه (۱)، جمله اول، هزینه پرداختی به تأمین‌کننده از جانب خرده‌فروش، جمله دوم، درآمد عایدی از فروش به بازار در سایت خرده‌فروش و جمله سوم، درآمد یا هزینه مربوط به محصولات مازاد را در انتهای دوره در سایت خرده‌فروش نشان می‌دهد که مجموع ارزش اسقاطی و هزینه نگهداری محصولات مازاد در انتهای دوره در سایت

به شکل زیر است:

$$\Pi_R^{RSR}(q, u, T) = \begin{cases} px - wq + (s-h)(q-x) - u(T-x), & q < T, x < q \\ (p-w)q - b(x-q) - u(T-q), & q < T, x \geq q \\ px - wq + (s-h)(q-x) - u(T-x), & q \geq T, x < T \\ px - wq + (s-h)(q-x) + u(x-T), & q \geq T, T \leq x < q \\ (p-w)q - b(x-q) + u(q-T), & q \geq T, x \geq q \end{cases} \quad (10)$$

در ضابطه اول رابطه (۱۰)، جمله اول درآمد حاصل از فروش، جمله دوم هزینه دریافت سفارش از تأمین کننده به وسیله خرده فروش، جمله سوم درآمد یا هزینه مربوط به محصولات مازاد در انتهای دوره در سایت خرده فروش - که مجموع ارزش اسقاطی و هزینه نگهداری محصولات مازاد در انتهای دوره در سایت خرده فروش است - و جمله چهارم مقدار جریمه پرداختی از جانب خرده فروش به تأمین کننده را به ازای فروش کمتر از آستانه نشان می دهد. در ضابطه دوم رابطه (۱۰)، جمله اول سود حاصل از فروش و جمله دوم کمبود ناشی از برآورده نشدن تقاضای بازار در انتهای دوره را در سایت خرده فروش نشان می دهد و جمله سوم مشابه جمله چهارم، ضابطه اول مقدار جریمه پرداختی از جانب خرده فروش به تأمین کننده را به ازای فروش کمتر از آستانه نشان می دهد. ضابطه سوم دقیقاً مانند ضابطه اول در رابطه (۱۰) است. در ضابطه چهارم، سه جمله اول مشابه سه جمله اول ضابطه یک هستند و جمله چهارم، مقدار پاداش پرداختی از جانب تأمین کننده به خرده فروش را در ازای فروش بیشتر از آستانه نشان می دهد. در ضابطه پنجم، دو جمله اول مشابه دو جمله اول ضابطه دوم و جمله سوم مقدار پاداش پرداختی از جانب تأمین کننده به خرده فروش را در ازای فروش بیشتر از آستانه نشان می دهد.

برای نوشتن تابع سود مورد انتظار خرده فروش در قرارداد جریمه و پاداش فروش نیاز است تا سه رابطه مفهومی زیر - که به ترتیب نشانگر مقدار فروش، مقدار موجودی مازاد در انتهای دوره و مقدار کمبود در انتهای دوره اند - تعریف شوند.

$$\Pi_{SC}(q) = \begin{cases} -cq + px + (s-h)(q-x), & x < q \\ -cq + pq - b(x-q), & x \geq q \end{cases} \quad (6)$$

براین اساس، می توان سود مورد انتظار برای کل زنجیره را در حالت تصمیم گیری متمرکز به صورت زیر بیان کرد:

$$E(\Pi_{SC}(q)) = (p-c)q + (s-h-p) \times \int_0^q (q-x)f(x)dx - b \int_q^\infty (x-q)f(x)dx \quad (7)$$

**قضیه ۲.** تابع سود زنجیره تأمین نسبت به متغیر تصمیم  $q$  مقعر است و مقدار بهینه  $q$  از دیدگاه کل زنجیره به صورت رابطه (۸) محاسبه می شود:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_{SC}}{\partial q} = 0 &\Rightarrow (p-c+b) + (s-h-p-b)F(q) = 0 \\ &\Rightarrow q_{SC} = F^{-1}\left(\frac{p-c+b}{p+h+b-s}\right) \end{aligned} \quad (8)$$

**اثبات قضیه ۲.** برای اثبات تقعر تابع سود زنجیره تأمین نسبت به  $q$  داریم:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_{SC}}{\partial q} &= (p-c+b) + (s-h-p-b)F(q) \\ \Rightarrow \frac{\partial^2 \Pi_{SC}}{\partial q^2} &= (s-h-p-b)f(q) < 0 \end{aligned} \quad (9)$$

از آنجاکه عبارت بالا همواره مقداری کمتر از صفر می گیرد، نسبت به  $q$  مقعر است و  $q$  به دست آمده سبب بیشینه سازی تابع سود مربوط می شود. ■

### قرارداد جریمه و پاداش فروش

همان گونه که در شکل ۲ مشاهده می شود، تحت قرارداد جریمه و پاداش فروش، تأمین کننده یک مقدار آستانه پرداخت جریمه و پاداش برای خرده فروش تعیین می کند. اگر فروش خرده فروش بیشتر از مقدار آستانه باشد، تأمین کننده برای هر واحد فروش بیشتر از این مقدار، پاداش  $u$  واحد پول را برای خرده فروش در نظر می گیرد و اگر فروش کمتر از این مقدار باشد، تأمین کننده برای هر واحد فروش کمتر، جریمه  $u$  واحد پول را برای خرده فروش در نظر خواهد گرفت؛ بنابراین، در این قرارداد، خرده فروش برای افزایش مقدار فروش خود، هم از جریمه و هم از پاداش تأثیر خواهد پذیرفت. از این رو، به طور غیرمستقیم انگیزه برای سفارش بیشتر در خرده فروش ایجاد می شود. تابع سود خرده فروش در قرارداد جریمه و پاداش فروش

$$E(\Pi_S^{RSR}(q, u, T)) = (w - c)q - u.(S(q) - T) \quad (15)$$

**قضیه ۴.** مقدار  $u$  بهینه برای هماهنگ‌سازی زنجیره تأمین به صورت زیر به دست می‌آید:

$$u = \frac{(w - c)(p + h + b - s)}{(c + h - s)} \quad (16)$$

**اثبات قضیه ۴.** با توجه به اینکه در حالت هماهنگ لازم است مقدار سفارش بهینه خرده‌فروش در قرارداد جریمه و پاداش فروش (رابطه (۱۲))، با مقدار سفارش بهینه کل زنجیره در حالت متمرکز (رابطه (۸)) برابر باشد، داریم:

$$q_R^{RSR} = q_{SC} \\ \Rightarrow F^{-1}\left(\frac{p - w + b + u}{p + h + b + u - s}\right) = F^{-1}\left(\frac{p + b - c}{p + h + b - s}\right) \quad (17) \\ \Rightarrow u = \frac{(w - c)(p + h + b - s)}{(c + h - s)}$$

در نتیجه، مقدار  $u$  بهینه برای هماهنگ‌سازی زنجیره تأمین مطابق رابطه (۱۷) اثبات شد. ■

برای به دست آوردن پارامتر دوم قرارداد جریمه و پاداش فروش که آستانه پرداخت هم جریمه و هم پاداش است، لازم است تا از طریق دو دیدگاه خرده‌فروش و تأمین‌کننده، یک حد بالا و پایین برای  $T$  به دست آوریم. از آنجاکه هر چه مقدار  $T$  بیشتر باشد، به ضرر خرده‌فروش است، از دیدگاه خرده‌فروش مقدار  $T_{max}$  قابل محاسبه خواهد بود. در عین حال، هر چه مقدار  $T$  کمتر باشد، به ضرر تأمین‌کننده است؛ بنابراین، از دیدگاه تأمین‌کننده  $T_{min}$  محاسبه می‌شود.

**قضیه ۵.** مقدار  $T_{max}$  بهینه برای هماهنگ‌سازی زنجیره تأمین برابر است با:

$$T_{max} = \frac{(c + h - s)}{(w - c)(p + h + b - s)} \times \left[ \frac{(p - w)(q_{SC} - q_R) - (p + h - s)(I(q_{SC}) - I(q_R)) - b(B(q_{SC}) - B(q_R))}{S(q_{SC})} \right] \quad (18)$$

**اثبات قضیه ۵.** برای محاسبات از دیدگاه خرده‌فروش و پیدا کردن  $T_{max}$  لازم است تضمین شود که سود خرده‌فروش بعد از مشارکت در طرح جریمه و پاداش فروش، بیش از سود وی در حالت غیرمتمرکز خواهد بود؛

$$S(q) = \int_0^q xf(x)dx + \int_q^\infty qf(x)dx \quad I$$

$$I(q) = \int_0^q (q - x)f(x)dx = q - S(q) \quad II$$

$$B(q) = \int_q^\infty (x - q)f(x)dx \quad III$$

بنابراین، سود مورد انتظار خرده‌فروش در قرارداد جریمه و پاداش فروش عبارت خواهد بود از:

$$E(\Pi_R^{RSR}(q, u, T)) = -wq + p.S(q) + (s - h).I(q) - b.B(q) + u.(S(q) - T) \quad (11)$$

شایان ذکر است که:  $T \geq 0$  و  $u > 0$

حال برای یافتن  $q$  بهینه از دیدگاه خرده‌فروش، ابتدا باید تقعر تابع سود آن نسبت به  $q$  اثبات شود.

**قضیه ۳.** تابع سود خرده‌فروش نسبت به متغیر تصمیم  $q$  مقعر است و مقدار بهینه  $q$  از دیدگاه خرده‌فروش در قرارداد جریمه و پاداش فروش مستقل از  $T$  خواهد بود و به صورت رابطه (۱۲) قابل محاسبه است:

$$\frac{\partial \Pi_R^{RSR}}{\partial q} = 0 \\ \Rightarrow (p - w + b + u) - F(q).(p - s + h + b + u) = 0 \quad (12) \\ \Rightarrow q_R^{RSR} = F^{-1}\left(\frac{p + b + u - w}{p + h + b + u - s}\right)$$

**اثبات قضیه ۳.** برای اثبات تقعر تابع سود خرده‌فروش نسبت به  $q$ ، مشتق مرتبه دوم تابع سود خرده‌فروش نسبت به متغیر  $q$  به صورت زیر محاسبه می‌شود:

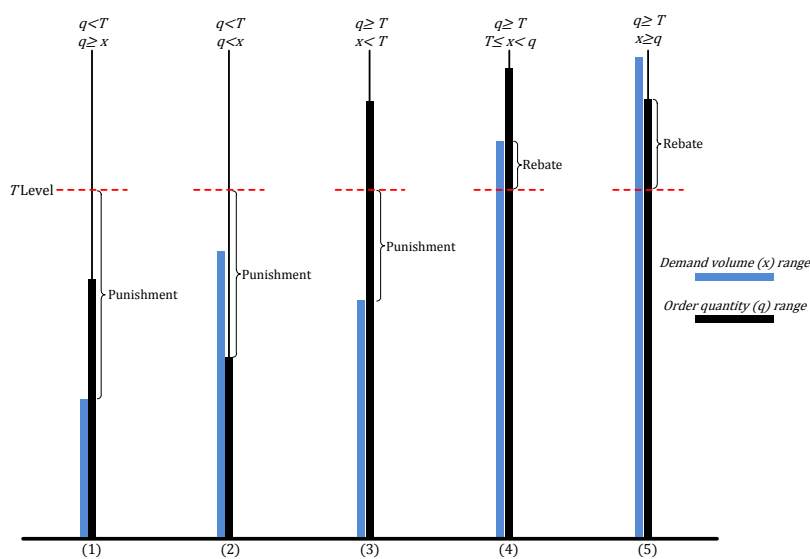
$$\frac{\partial \Pi_R^{RSR}}{\partial q} = (p + u + b - w) - (p + b + h + u - s)F(q) \quad (13) \\ \Rightarrow \frac{\partial^2 \Pi_R^{RSR}}{\partial q^2} = -(p + b + h + u - s)f(q) < 0$$

از آنجاکه عبارت بالا همواره مقداری کمتر از صفر می‌گیرد، نسبت به  $q$  مقعر است. ■

در قرارداد جریمه و پاداش فروش، تابع سود تأمین‌کننده عبارت است از:

$$\Pi_S^{RSR}(q, u, T) = \begin{cases} (w - c)q + u(T - x), & q < T, x < q \\ (w - c)q + u(T - q), & q < T, x \geq q \\ (w - c)q + u(T - x), & q \geq T, x < T \\ (w - c)q - u(x - T), & q \geq T, T \leq x < q \\ (w - c)q - u(q - T), & q \geq T, x \geq q \end{cases} \quad (14)$$

سود مورد انتظار تأمین‌کننده در قرارداد جریمه و پاداش فروش از رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود:



شکل ۲. حالت‌های ممکن برای قرارداد جریمه و پاداش فروش

(۵) جاگذاری می‌کنیم. در نتیجه، خواهیم داشت:

$$E(\Pi_S^{RSR}(q_{SC}, T, u)) \geq E(\Pi_S(q_R)) \quad (21)$$

$$\Rightarrow T \geq \frac{(c+h-s)(q_R - q_{SC})}{(p+h+b-s)} + S(q_{SC})$$

در نتیجه، مقدار  $T_{min}$  برای هماهنگ‌سازی زنجیره تأمین

مطابق رابطه (۲۱) اثبات شد. ■

### محاسبات عددی

در این بخش قصد داریم برای درک بهتر مسئله و مدل‌های ارائه‌شده، مثال عددی حل کنیم و توابع سود اعضا و کل زنجیره را برای حالت‌های بدون هماهنگی و هماهنگی به کمک قرارداد جریمه و پاداش فروش مقایسه کنیم.

جدول‌های ۲ و ۳ به ترتیب مقادیر مربوط به پارامترهای مسائل آزمایش و نتایج عددی (شامل پارامترهای قرارداد جریمه و پاداش فروش و نیز مقادیر سفارش بهینه و در نهایت، مقادیر سود اعضای زنجیره و کل زنجیره در دو حالت سنتی و تحت قرارداد) را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۳، مدل متمرکز در مقایسه با حالت تصمیم‌گیری غیرمتمرکز، منافع بیشتری برای زنجیره حاصل کرده است، اما این به مفهوم سود بیشتر اعضای زنجیره نیست. از همین‌رو، قرارداد جریمه و پاداش فروش پیشنهاد شده و توانسته است که سود تک‌تک اعضای زنجیره را از تصمیم‌گیری غیرمتمرکز بیشتر کند. در عین حال، سود کل زنجیره نیز افزایش یافته است.

بنابراین، مقادیر به‌دست‌آمده از روابط (۸) و (۱۶) را در رابطه (۱۱) و مقدار به‌دست‌آمده از رابطه (۳) را در رابطه (۲) جاگذاری می‌کنیم. به‌علاوه از آنجاکه  $x \sim N(\mu, \sigma^2)$

خواهیم داشت:  $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$  در نتیجه داریم:

$$E(\Pi_R^{RSR}(q_{SC}, T, u)) \geq E(\Pi_R(q_R)) \quad (19)$$

$$\Rightarrow T \leq \frac{(c+h-s)}{(w-c)(p+h+b-s)} \times$$

$$\left[ \frac{(p-w)(q_{SC} - q_R) - (p+h-s)(I(q_{SC}) - I(q_R)) - b(B(q_{SC}) - B(q_R))}{S(q_{SC})} \right]$$

در نتیجه، مقدار  $T_{max}$  برای هماهنگ‌سازی زنجیره تأمین مطابق رابطه (۱۹) اثبات شد.

**قضیه ۶.** مقدار  $T_{min}$  بهینه برای هماهنگ‌سازی زنجیره تأمین برابر است با:

$$T_{min} = \frac{(c+h-s)(q_R - q_{SC})}{(p+h+b-s)} + S(q_{SC}) \quad (20)$$

**اثبات قضیه ۶.** برای محاسبات از دیدگاه تأمین‌کننده و پیدا کردن  $T_{min}$  لازم است تضمین شود که سود تأمین‌کننده بعد از مشارکت در طرح جریمه و پاداش فروش، بیش از سود وی در حالت غیرمتمرکز خواهد بود؛ بنابراین، مقادیر به‌دست‌آمده از روابط (۸) و (۱۶) را در رابطه (۱۵) و مقدار به‌دست‌آمده از رابطه (۳) را در رابطه



جدول ۲. مقادیر پارامترهای مسئله

NO.	$\mu$	$\sigma$	$p$	$c$	$s$	$w$	$h$	$b$
۱	۱۰	۴	۱۰	۳	۱	۶	۲/۵	۳
۲	۱۲	۵/۵	۱۶	۷	۱/۵	۱۰	۵	۹
۳	۱۵	۰/۵	۱۰	۲	۰/۱	۳/۵	۶	۸
۴	۲۰	۳	۸	۱	۰/۲۵	۴	۲/۵	۲
۵	۲۵	۳	۲۰	۱۰	۵	۱۶	۴	۴
۶	۳۵	۲	۱۰	۲	۰/۳	۳/۵	۲	۴
۷	۱۰۰	۱۰	۱۰	۳	۰/۵	۵	۲/۵	۳/۵
۸	۵۰۰	۲۰	۲۰	۱۰	۲	۱۲	۶	۷
۹	۱۰۰۰	۵۰	۲۰	۶	۱	۱۱	۶	۷
۱۰	۲۰۰۰	۱۱۰	۱۸	۷	۰/۷۵	۱۱	۴	۶
۱۱	۵۰۰۰	۲۰۰	۱۵	۶	۱	۹	۴/۵	۴/۵

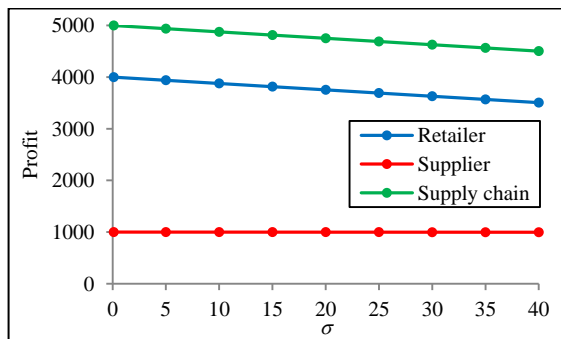
جدول ۳. نتایج عددی برای دو حالت تصمیم‌گیری سنتی و قرارداد پاداش فروش

NO.	$T_{min}$	$T_{max}$	$u$	$q_{SC}$	$q_R$	$T_{average}$	Profit (Traditional Mode)			Profit (TSR Mode)		
							$R$	$S$	$SC$	$R$	$S$	$SC$
۱	۸/۶۲	۸/۹۶	۹/۶۷	۱۱/۹۸	۹/۸۳	۸/۷۹	۱۷/۶۸	۲۹/۴۸	۴۷/۱۶	۱۹/۳۴	۳۱/۱۴	۵۰/۴۸
۲	۱۰/۲۹	۱۰/۶۱	۸/۱۴	۱۳/۸۵	۱۲/۳۶	۱۰/۴۵	۱۳/۶۶	۳۷/۰۹	۵۰/۷۵	۱۴/۹۸	۳۸/۴۰	۵۳/۳۸
۳	۱۴/۸۶	۱۴/۸۸	۴/۵۴	۱۵/۲۲	۱۵/۱۴	۱۴/۸۷	۹۲/۹۰	۲۲/۷۰	۱۱۵/۶۱	۹۲/۹۴	۲۲/۷۳	۱۱۵/۶۷
۴	۱۸/۹۹	۱۹/۲۵	۱۱/۳۱	۲۱/۸۸	۱۹/۹۲	۱۹/۱۲	۶۵/۳۴	۵۹/۷۷	۱۲۵/۱۱	۶۶/۷۶	۶۱/۱۹	۱۲۷/۹۶
۵	۲۳/۳۹	۲۳/۷۸	۱۵/۳۳	۲۵/۸۳	۲۳/۸۳	۲۳/۵۹	۷۴/۵۰	۱۴۲/۹۶	۲۱۷/۴۶	۷۷/۵۲	۱۴۵/۹۸	۲۲۳/۵۰
۶	۳۴/۵۹	۳۴/۶۶	۶/۳۶	۳۶/۴۴	۳۵/۸۷	۳۴/۶۲	۲۱۶/۱۱	۵۳/۸۱	۲۶۹/۹۲	۲۱۶/۳۲	۵۴/۰۲	۲۷۰/۳۴
۷	۹۶/۸۰	۹۷/۳۴	۶/۲۰	۱۰۴/۶۱	۱۰۱/۲۲	۹۷/۰۷	۴۳۸/۶۲	۲۰۲/۴۳	۶۴۱/۰۵	۴۴۰/۲۹	۲۰۴/۱۰	۶۴۴/۳۹
۸	۴۹۱/۷۲	۴۹۲/۴۴	۴/۴۳	۵۰۲/۴۳	۴۹۹/۱۹	۴۹۲/۰۸	۳۷۵۲/۹	۹۹۸/۳۸	۴۷۵۱/۲	۳۷۵۴/۵	۱۰۰۰/۰	۴۷۵۴/۵
۹	۹۸۱/۶۰	۹۸۵/۰۱	۱۴/۵۵	۱۰۲۰/۱	۱۰۰۰/۰	۹۸۳/۳۱	۸۳۶۱/۷	۵۰۰۰/۰	۱۳۳۶۲	۸۳۸۶/۵	۵۰۲۴/۸	۱۳۴۱۱
۱۰	۱۹۵۵/۹	۱۹۶۳/۵	۱۰/۶۳	۲۰۳۴/۷	۱۹۹۳/۷	۱۹۵۹/۷	۱۲۸۰۶	۷۹۷۴/۷	۲۰۷۸۱	۱۲۸۴۷	۸۰۱۵/۴	۲۰۸۶۲
۱۱	۴۹۱۳/۱	۴۹۲۶/۶	۷/۲۶	۵۰۴۳/۹	۴۹۷۸/۲	۴۹۱۹/۹	۲۸۱۷۶	۱۴۹۳۴	۴۳۱۱۰	۲۸۲۲۵	۱۴۹۸۴	۴۳۲۰۹

قابل قبول نخواهد بود. برای برطرف کردن این نقیصه لازم است تا نمودارهای موجود را تحت شرایط هماهنگ‌شده مقایسه کنیم. همان‌گونه که در این سه نمودار مشاهده می‌شود، در حالت تحت قرارداد، تمامی اعضا و کل زنجیره، در مقایسه با حالت غیرمتمرکز دارای سود بیشتری خواهند بود؛ بنابراین، می‌توان دریافت که در حالت تحت قرارداد، یک تقسیم سود مناسب از جانب تأمین‌کننده به خرده‌فروش صورت گرفته است، زیرا افزایش سود تأمین‌کننده، در حالت متمرکز متعادل تر شده و در عوض، کاهش سود خرده‌فروش در حالت متمرکز، به افزایش سود در حالت قرارداد انجامیده است. این در حالی است که در حالت تحت قرارداد، همچنان مقدار سود کل زنجیره به

شکل‌های ۳، ۴ و ۵ به ترتیب تغییرات سود خرده‌فروش، تأمین‌کننده و کل زنجیره را در سه حالت تصمیم‌گیری غیرمتمرکز، تحت قرارداد و متمرکز در مقابل تغییرات انحراف معیار تقاضا نشان می‌دهند. شایان ذکر است که نمودارهای سود کل زنجیره، تحت حالت‌های متمرکز و تحت قرارداد بر هم منطبق می‌شوند. از این‌رو، یک منحنی برای آن‌ها در شکل‌ها نمایش داده شده است. همان‌گونه که در این سه شکل مشاهده می‌شود، علی‌رغم افزایش سود کل زنجیره از حالت غیرمتمرکز به متمرکز، سود خرده‌فروش در همین حالت کاهش و سود تأمین‌کننده افزایش می‌یابد؛ بنابراین، این تغییر وضعیت از حالت غیرمتمرکز به متمرکز، برای خرده‌فروش به هیچ وجه

کل زنجیره را در برابر تغییرات انحراف معیار تقاضا نمایش می‌دهد. با توجه به شکل ۶، با افزایش نوسانات تقاضا، سود تمامی اعضا و همچنین کل زنجیره کاهش می‌یابد. این در حالی است که شیب کاهشی سود برای خرده‌فروش و کل زنجیره برابر و هردو، بیشتر از شیب کاهشی تأمین‌کننده است. به کمک روابط ۲، ۵ و ۷ می‌توان دریافت که مهم‌ترین عامل مؤثر بر توابع سود، مقدار سفارش است؛ بنابراین، مهم‌ترین دلیل شیب کاهشی نمایش داده‌شده در شکل ۶، کاهش مقدار سفارش در حالت غیرمتمرکز با افزایش میزان نوسانات تقاضاست که در شکل ۷ نیز به راحتی قابل مشاهده است.

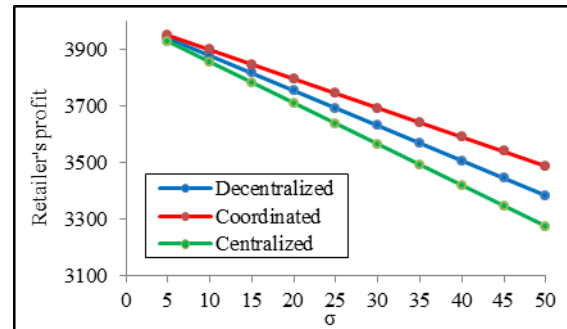


شکل ۶. تغییرات توابع سود در برابر نوسانات تقاضا

شکل ۷ تغییرات مقدار سفارش از دیدگاه خرده‌فروش و کل زنجیره را در برابر تغییرات انحراف معیار توزیع احتمالی تقاضا نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۷، در حالت تصمیم‌گیری غیرمتمرکز، با توجه به اینکه با افزایش نوسانات تقاضا ریسک سفارش بالا زیاد می‌شود، خرده‌فروش مقدار سفارش خود را کمتر می‌کند، زیرا حاضر نیست هزینه نگهداری محصولات مازاد را در انتهای دوره متحمل شود. از این‌رو، تصمیم‌گیری محتاطانه‌تری اتخاذ می‌کند، اما در حالت تصمیم‌گیری از دیدگاه کل زنجیره، شاهد تصمیم‌گیری متفاوتی هستیم و مشاهده می‌کنیم که مقدار سفارش با افزایش نوسانات تقاضا افزایش می‌یابد. به عبارتی، در حالت تصمیم‌گیری متمرکز با اتخاذ رویکرد کاملاً متفاوت، ترجیح بر افزایش مقدار سفارش به‌منظور غلبه بر نوسانات تقاضا و افزایش ریسک‌پذیری موجودی مازاد و هزینه‌های نگهداری آن‌هاست.

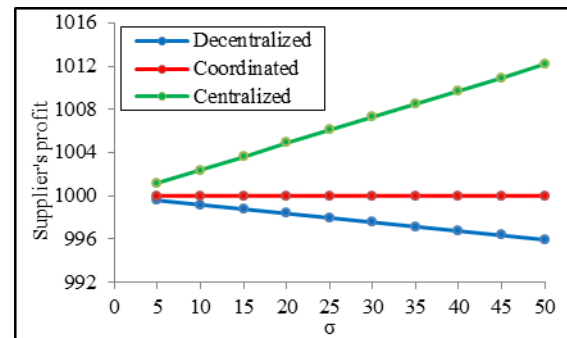
شکل ۸ تغییرات مقدار آستانه پرداخت جریمه و پاداش را در برابر تغییرات انحراف معیار توزیع احتمالی تقاضا نشان

اندازه حالت متمرکز است (Channel coordination). به‌علاوه، از این سه شکل می‌توان به کارایی بالای قرارداد ارائه‌شده در مقادیر زیاد تقاضا پی برد.



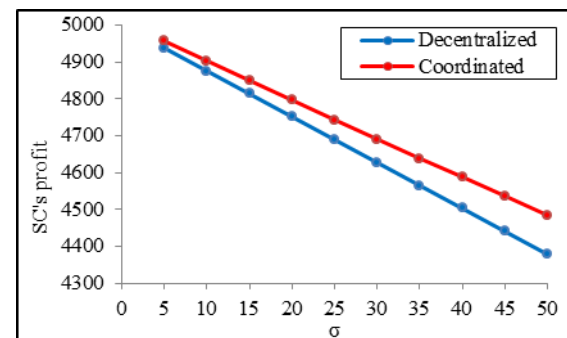
شکل ۳. تغییرات سود خرده‌فروش در برابر تغییرات انحراف

معیار تقاضا تحت سه سناریو مختلف



شکل ۴. تغییرات سود تأمین‌کننده در برابر تغییرات انحراف

معیار تقاضا تحت سه سناریو مختلف



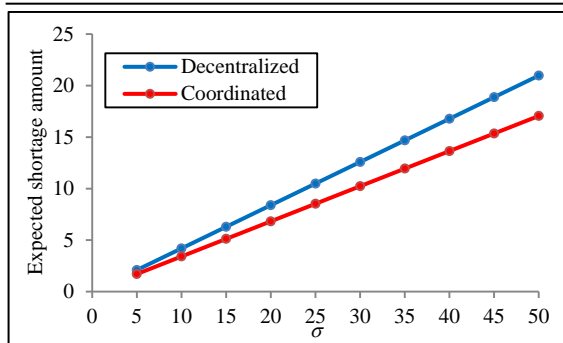
شکل ۵. تغییرات سود زنجیره تأمین در برابر تغییرات انحراف

معیار تقاضا تحت دو سناریو مختلف

## تحلیل حساسیت

در این بخش، برای بررسی تغییرپذیری پارامترها و تأثیرات آن‌ها بر شاخص‌های مدل، تعدادی تحلیل حساسیت مبتنی بر مقادیر پارامترهای ارائه‌شده در جدول ۲ و براساس مثال ۸ صورت گرفته است.

شکل ۶ تغییرات تابع سود خرده‌فروش، تأمین‌کننده و



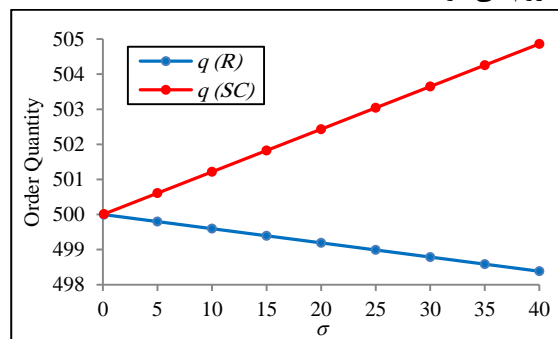
شکل ۱۰. تأثیر تغییرات انحراف معیار تقاضا بر مقدار کمبود

شکل‌های ۹ و ۱۰ به‌ترتیب مقادیر فروش و کمبود مورد انتظار را در دو حالت تصمیم‌گیری غیرمتمرکز و تحت قرارداد مقایسه می‌کنند. با توجه به این دو شکل، قرارداد جریمه و پاداش فروش قادر است که مقدار فروش را نسبت به حالت غیرمتمرکز افزایش و مقدار کمبود را کاهش دهد. از سوی دیگر مطابق انتظار، با افزایش نوسانات تقاضا، مقدار فروش و کمبود مورد انتظار در هر دو حالت به‌ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد، اما همین کاهش فروش و افزایش کمبود برای حالت هماهنگ، دارای شیب کمتری است؛ چراکه قرارداد ارائه‌شده نوسانات تقاضا را التیام بخشیده و مقادیر تغییر فروش و کمبود را متعادل کرده است. در نتیجه، بر مبنای نمودارهای ۹ و ۱۰ با قرارداد جریمه و پاداش فروش، دو شاخص مهم فروش و کمبود، به‌صورت کارا کنترل و هماهنگ می‌شوند.

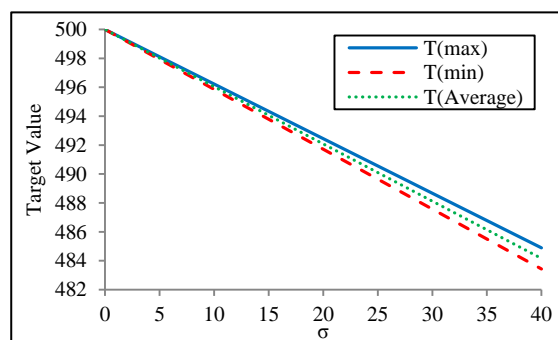
### نتیجه‌گیری

در این مقاله، هماهنگی یک زنجیره تأمین دوسطحی شامل یک خرده‌فروش و یک تأمین‌کننده-درحالی‌که تقاضای بازار احتمالی است- بررسی شده است. به‌منظور بررسی تأثیر قرارداد جریمه و پاداش فروش در ایجاد هماهنگی زنجیره تأمین مفروض- که در ادبیات هماهنگی زنجیره‌های تأمین به آن پرداخته نشده بود- زنجیره در سه حالت تصمیم‌گیری متمرکز، غیرمتمرکز و قرارداد جریمه و پاداش فروش مدل‌سازی شد. نوآوری‌های اصلی این تحقیق نسبت به مطالعات پیشین، اجرای یک رویکرد هماهنگ‌سازی هم‌زمان تشویقی و تنبیهی با عنوان قرارداد جریمه و پاداش فروش و ارائه روش حل جدید مبنی‌بر در نظر گرفتن دو دیدگاه خرده‌فروش و تأمین‌کننده برای به‌دست‌آوردن پارامترهای قرارداد است.

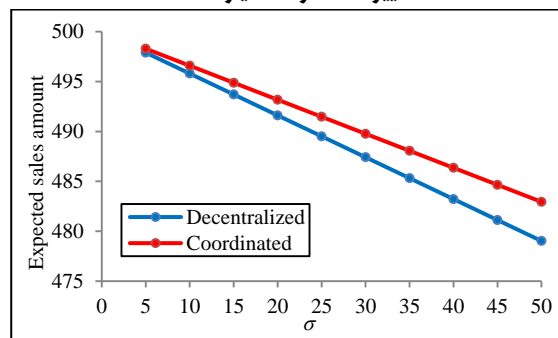
می‌دهد. با توجه به شکل ۸، مقادیر بیشینه و کمینه آستانه با افزایش نوسانات تقاضا رفتار کاهشی نشان می‌دهند که شیب کاهشی برای مقادیر کمینه آستانه بیشتر خواهد بود. نکته مهم در شکل ۸، کاهش مقدار متوسط آستانه با افزایش نوسانات تقاضاست که بیانگر آن است که با افزایش ریسک تقاضا برای خرده‌فروش، طرح هم‌زمان تشویقی و تنبیهی برای خرده‌فروش مبنی‌بر کم کردن مقدار آستانه از جانب تأمین‌کننده اعمال می‌شود تا خرده‌فروش مقدار تقاضای خود را بیش‌ازحد کاهش ندهد؛ چراکه در این صورت، هم مشمول جریمه می‌شود و هم از دریافت پاداش محروم می‌شود.



شکل ۷. تغییرات مقادیر سفارش در برابر تغییرات انحراف معیار تقاضا



شکل ۸. تغییرات مقادیر آستانه پرداخت جریمه و پاداش در برابر تغییرات انحراف معیار تقاضا



شکل ۹. تأثیر تغییرات انحراف معیار تقاضا بر مقدار فروش

فروش قابلیت ایجاد هماهنگی کامل را در زنجیره دارد؛ به گونه‌ای که سود تک تک اعضا و کل زنجیره در مقایسه با تصمیم‌گیری غیرمتمرکز افزایش یافته است. در ادامه، برای اعتبارسنجی مدل ارائه شده مثال‌های عددی متعددی به-همراه تحلیل حساسیت صورت گرفت و به صورت دقیق تحلیل و بررسی شد. تحقیقات گسترده‌ای در آینده می‌تواند در ادامه این تحقیق صورت بگیرد. در نظر گرفتن تقاضای وابسته به قیمت خرده‌فروشی، فضای رقابتی برای خرده‌فروش‌ها و حتی تأمین‌کننده‌ها، در نظر گرفتن قراردادهای انگیزشی ترکیبی و وارد کردن بحث ریسک‌گریزی از این قبیل پژوهش‌ها به‌شمار می‌روند.

### تشکر و قدردانی

از حمایت مالی دانشگاه تهران از این تحقیق در قالب طرح پژوهشی شماره ۲۹۹۱۷/۰۱/۰۱ قدردانی می‌شود.

مهم‌ترین کاربرد مدیریتی این تحقیق، مربوط به رسیدگی به تقاضای احتمالی به‌وسیله قرارداد جریمه و پاداش فروش است. براساس بررسی‌های عددی، قرارداد ارائه شده به‌صورت کاملاً کارا قادر است تأثیرات نوسانات تقاضای احتمالی را بر شاخص‌های عملکردی زنجیره تأمین خنثی کند. از این‌رو، تعیین آستانه جریمه و پاداش از سوی تأمین‌کننده و ارائه طرح هم‌زمان تشویقی و تنبیهی می‌تواند مقدار فروش را افزایش و مقدار کمبود را کاهش دهد. از سوی دیگر، خرده‌فروش کاملاً از طرح تشویق و تنبیه تأمین‌کننده تأثیر می‌پذیرد و برای دستیابی به اهداف خود مجبور به افزایش سفارش از تأمین‌کننده می‌شود. به‌عنوان یکی از تأثیرات غیرمستقیم می‌توان به امکان ثبات و تداوم فرایند تولید و پیاده‌سازی فرایند تولید کم‌هزینه در اثر اجرای قرارداد جریمه و پاداش فروش در زنجیره تأمین پیشنهادی اشاره کرد. به‌علاوه، نتایج نشان می‌دهد قرارداد جریمه و پاداش

### مراجع

1. Cachon, G. P. (2003). "Supply chain coordination with contracts", *Handbooks in Operations Research and Management Science*, Vol. 11, No. 1, PP. 227-339.
2. Wong, W.-K., Qi, J. and Leung, S. (2009). "Coordinating supply chains with sales rebate contracts and vendor-managed inventory", *International Journal of Production Economics*, Vol. 120, No. 1, PP. 151-161.
3. Taylor, T. A. (2002). "Supply chain coordination under channel rebates with sales effort effects", *Management Science*, Vol. 48, No. 8, PP. 992-1007.
4. Li, X. and Wang, Q. (2007). "Coordination mechanisms of supply chain systems", *European Journal of Operational Research*, Vol. 179, No. 1, PP. 1-16.
5. Taylor, T. A. and Xiao, W. (2009). "Incentives for retailer forecasting: Rebates vs. returns", *Management Science*, Vol. 55, No. 10, PP. 1654-1669.
6. He, Y., Zhao, X., Zhao, L. and He, J. (2009). "Coordinating a supply chain with effort and price dependent stochastic demand", *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 33, No. 6, PP. 2777-2790.
7. Chiu, C.-H., Choi, T.-M. and Li, X. (2011). "Supply chain coordination with risk sensitive retailer under target sales rebate", *Automatica*, Vol. 47, No. 8, PP. 1617-1625.
8. Chiu, C. H., Choi, T. M. and Tang, C. S. (2011). "Price, Rebate, and Returns Supply Contracts for Coordinating Supply Chains with Price-Dependent Demands", *Production and Operations Management*, Vol. 20, No. 1, PP. 81-91.
9. Xing, D. and Liu, T. (2012). "Sales effort free riding and coordination with price match and channel rebate", *European Journal of Operational Research*, Vol. 219, No. 2, PP. 264-271.
10. Giannoccaro, I. and Pontrandolfo, P. (2004). "Supply chain coordination by revenue sharing contracts", *International Journal of Production Economics*, Vol. 89, No. 2, PP. 131-139.

11. Ding, D. and Chen, J. (2008). "Coordinating a three level supply chain with flexible return policies", *Omega*, Vol. 36, No. 5, PP. 865-876.
12. Ruiz-Benitez, R. and Muriel, A. (2014). "Consumer returns in a decentralized supply chain", *International Journal of Production Economics*, Vol. 147, No. 1, PP. 573-592.
13. Hou, J., Zeng, A. Z. and Zhao, L. (2009). "Achieving better coordination through revenue sharing and bargaining in a two-stage supply chain", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 57, No. 1, PP. 383-394.
14. Xu, G., Dan, B., Zhang, X. and Liu, C. (2014). "Coordinating a dual-channel supply chain with risk-averse under a two-way revenue sharing contract", *International Journal of Production Economics*, Vol. 147, No. 1, PP. 171-179.
15. Corbett, C. J. and De Groote, X. (2000). "A supplier's optimal quantity discount policy under asymmetric information", *Management Science*, Vol. 46, No. 3, PP. 444-450.
16. Zissis, D., Ioannou, G. and Burnetas, A. (2015). "Supply chain coordination under discrete information asymmetries and quantity discounts", *Omega*, Vol. 53, No. 1, PP. 21-29.
17. Tsay, A. A. (1999). "The quantity flexibility contract and supplier-customer incentives", *Management Science*, Vol. 45, No. 10, PP. 1339-1358.
18. Lian, Z. and Deshmukh, A. (2009). "Analysis of supply contracts with quantity flexibility", *European Journal of Operational Research*, Vol. 196, No. 2, PP. 526-533.
19. Huang, X., Gu, J.-W., Ching, W.-K. and Siu, T.-K. (2014). "Impact of secondary market on consumer return policies and supply chain coordination", *Omega*, Vol. 45, No. 1, PP. 57-70.
20. Heydari, J. and Asl-Najafi, J. (2016). "Coordinating inventory decisions in a two-echelon supply chain through the target sales rebate contract", *International Journal of Inventory Research*, Vol. 3, No. 1, PP. 49-69.
21. Wang, C. X. (2002). "A general framework of supply chain contract models", *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 7, No. 5, PP. 302-310.

### واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1. Centralized
2. Decentralized
3. Revenue Sharing
4. Quantity Discount
5. Buy-Back
6. Delay-in-Payment
7. Quantity Flexibility
8. Sales Rebate
9. Revised Sales Rebate
10. Sales Rebate and Punishment