# هماهنگی اعضای زنجیره تأمین سوخت زیستی با درنظرگرفتن سطح فناوری کشاورزان و شرکت خدمات حمایتی کشاورزی

**فرخنده اکبری**
کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران fa_akbari@ind.iust.ac.ir

**سعید یعقوبی (نویسنده مسئول)**
دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران yaghoubi@iust.ac.ir

**حمیده بهرامی**
دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران hamideh_bahrami@ind.iust.ac.ir

**چکیده**
در این پژوهش، ارتباط اعضای زنجیره تأمین انرژی زیستی شامل کشاورز (الف) و (ب) به ترتیب به‌عنوان نماینده کشاورزان روستایی و مدرن، شرکت کشاورزی و پالایشگاه، در حالت همکاری و عدم همکاری مورد بررسی می‌گیرد. کشاورزان در زمینه سطح فناوری مورداستفاده و قیمت زیست‌توده، شرکت کشاورزی درمورد مقدار سفارش اولیه و پالایشگاه نیز بر قیمت نهایی سوخت زیستی تصمیم می‌گیرند. نتایج نشان می‌دهند که همکاری با شرکت کشاورزی منجر به افزایش سطح فناوری و سود کشاورز می‌شود. درحالی‌که قیمت فناوری کشاورز (ب) کاهش یافته، اما با تقبل بخشی از هزینه‌های عملیات توسط شرکت، سود نهایی کشاورز افزایش می‌یابد. همچنین، تسهیم درآمد پالایشگاه با شرکت، موجب افزایش سفارش اولیه زیست‌توده و قیمت سوخت زیستی می‌شود. این تحقیق نشان می‌دهد استفاده از قراردادهای همکاری میان اعضای این زنجیره تأمین و همچنین دخالت شرکت کشاورزی در زمینه ارتقای سطح فناوری می‌تواند در راستای ارتقای سود اعضا و سطح فناوری مؤثر باشد.

**کلمات کلیدی:** زنجیره تأمین انرژی زیستی؛ قرارداد همکاری؛ نظریه بازی؛ شرکت خدمات حمایتی کشاورزی.

# The coordination of biofuel supply chain members considering farmers' technology level and agricultural support services company

**F. Akbari,** fa_akbari@ind.iust.ac.ir

**M.Sc. degree, School of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran**

**S. Yaghoubi (**Corresponding author**),** yaghoubi@iust.ac.ir

**Associate Professor, School of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran**

**H. Bahrami,** hamideh_bahrami@ind.iust.ac.ir

**PhD Candidate, School of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran**

## Abstract

Due to the significant growth in the world population in the last decade, there have been many challenges, including an increasing demand for energy and fossil fuels and rising oil prices. According to the mentioned problems, renewable energy would be more cost-effective, efficient, less polluting, and more sustainable. Among renewable energies, bioenergy is the third largest renewable source of electricity and the most significant renewable heat source, having more than 95% of the supply. In recent years, due to an increase in fossil fuel consumption and greenhouse gas emissions, the use of renewable energy, including biological energy, has significant importance. Therefore, the bioenergy supply chain is one of the most important and challenging issues due to its impact on the environment. Moreover, in the bioenergy supply chain, coordination models among members in order to reduce costs and increase chain profit are inevitable. Therefore, in this research, there is a three-level bioenergy supply chain, consisting of two competing farmers ‘A’ and ‘B’, an Agricultural Support Services Company (ASSC) and biorefinery. Considering the importance of technology in different stages of the agricultural process farmer sales, besides the price, farmers decide on the technology level used in biomass agriculture. The company and biorefinery decide on basic order quantity and biofuel price respectively. In order to analyze the model, the results obtained from the non-cooperation mode were compared with the cooperation mode, in which three separate infrastructure cost-sharing, operational cost-sharing, and revenue-sharing contracts are used. The results indicate that cooperation with the agricultural company leads to an increase in the technology level and profit of farmer A. While the biomass price of farmer ‘B’ decreased, accepting part of the operational costs by the company increases the farmer's final profit. In addition, sharing the refinery's income with the company leads to an increase in the price of biofuel. Therefore, This research shows that using collaboration contracts between members of this supply chain and also the intervention of the agricultural company in upgrading the technology level can be effective in improving the members' profit and technology level.

Keywords: Biomass supply chain; Coordination contracts; Game theory; Agricultural support services company

## ۱. مقدمه

امروزه انرژی، زیرمجموعه‌ای از نظام اقتصادی و اجتماعی است که تأثیر زیادی بر فرایند توسعه اقتصادی می‌گذارد. اهمیت اقتصادی انرژی به دلیل اشتغال‌زایی، افزایش درآمدهای ناشی از مبادلات تجاری انرژی، نقش عمده آن در بخش‌های تولیدی و خدماتی و همچنین، ایجاد تعاملات گسترده سیاسی، اقتصادی و... است [۱]. به‌طورکلی منابع تأمین انرژی به دودسته تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر قابل‌تقسیم هستند. امروزه باوجوداینکه منابع فسیلی ارزان و دستیابی به آن‌ها آسان‌تر است، اما با به‌کارگیری بی‌رویه این منابع توسط جوامع صنعتی، این منابع زیرزمینی در آینده نه‌چندان دور به اتمام خواهند رسید. از طرف دیگر، نرخ رشد جمعیت، موجب افزایش فشار بر منابع تأمین‌کننده انرژی ازجمله منابع فسیلی، اختلال در امنیت انرژی، تغییرات آب‌وهوایی و افزایش بهای انرژی و غذا خواهد شد [۲]. از سویی، افزایش جمعیت، آلودگی زیست‌محیطی حاصل از مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی و همچنین، فجایع طبیعی چون آتش‌سوزی، موجب انتشار بیش از حد گاز $CO_2$ و سایر گازهای گلخانه‌ای شده و درنتیجه؛ عواقب جبران‌ناپذیری برای نسل‌های بعدی باقی خواهد گذاشت. بنابراین، در عصر حاضر لازم است تا جوامع مختلف به منابع انرژی جایگزین که قابلیت تجدید پذیری داشته و عمر طولانی دارند روی آورده و در این زمینه، تحقیقات، پژوهش‌ها و سرمایه‌گذاری خود را توسعه دهند. انرژی زیستی، یکی از منابع متنوع موجود برای تأمین تقاضای انرژی است، که به عنوان انرژی تجدیدپذیر از سوخت زیستی[۲] تأمین می‌گردد. سوخت زیستی نیز از مواد آلی زنده که با نام زیست‌توده[۳] شناخته می‌شوند، گرفته‌شده و می‌تواند برای تولید سوخت‌های حمل‌ونقل، گرما، برق و محصولات آن استفاده شود [۳]. منابع زیست‌توده را به‌طورکلی می‌توان به دودسته زمینی و آبی تقسیم کرد که زیست‌توده از نوع زمینی، خود شامل دودسته است. گروه اول، شامل محصولات غذایی و مورد مصرف انسان ازجمله دانه ذرت، نیشکر، سویا، دانه‌های روغنی و غیره، که این مواد غذایی سرشار از قند یا لیپید هستند، و پس از تبدیل به اتانول زیستی یا دیزل زیستی بازده بالایی دارند. در حال حاضر، بیشتر سوخت‌های زیستی از این مواد اولیه ساخته می‌شوند، چراکه فناوری تولید آن نسبت به سایر گروه‌ها پیشرفته‌تر بوده و درنتیجه، هزینه واحد تولید سوخت از آن‌ها کمتر است [۴]. این گروه با نام سوخت زیستی نسل اول[۴] نیز شناخته می‌شوند. گروه دوم، به‌عنوان زیست‌توده سلولزی، می‌تواند از اثرات منفی بر زنجیره تأمین غذا جلوگیری کند، زیرا مواد خوراکی غیر نشاسته‌ای، غیرخوراکی و غیر غذایی را شامل می‌شوند. مواد اولیه سلولزی زیست‌توده را می‌توان از منابع مختلفی به دست آورد مانند بقایای کشاورزی، بقایای جنگل و محصولات انرژی‌زا. بقایای کشاورزی معمولاً قسمت‌هایی از گیاه است که پس از برداشت در مزرعه باقی می‌مانند. باوجوداینکه این منابع مسئله غذایی را تا حدودی حل می‌کنند و بازدهی بیشتری ازنظر بهره‌وری برای تولید سوخت دارند، اما فرآیند تولید سوخت دشوارتر و پرهزینه می‌شود [۴]. این گروه با نام سوخت زیستی نسل دوم[۵] نیز شناخته می‌شوند.

از سوی دیگر، امروزه باتوجه‌به پیچیدگی بازارها و رشد سریع روابط و تعامل میان افراد، تغییرات فناوری و تغییر سبک زندگی و همچنین، نحوه تقاضای خدمات و محصولات، توجه به طول عمر محصولات و زمان پاسخگویی به مشتریان و از طرف دیگر، افزایش انعطاف‌پذیری موجب اهمیت زنجیره تأمین برای بقای سازمان‌ها و شرکت‌ها شده است. به‌طورکلی می‌توان گفت زنجیره تأمین، سیستمی متشکل از سازمان‌ها و افراد می‌باشد که میان فعالیت‌ها و فرایندها، اطلاعات، منابع پولی و همچنین، جریان فیزیکی کالا و خدمات ارتباط برقرار می‌کند تا درنهایت بتواند کالا و یا خدمت موردنظر را از عرضه‌کننده به مشتری نهایی برساند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت اجرای تمامی مراحل نمی‌تواند به عهده یک عضو زنجیره باشد. مدیریت زنجیره تأمین، عبارت است از برنامه‌ریزی و مدیریت کلیه فعالیت‌های مربوط به تهیه و تدارکات، تغییر و تبدیل، کلیه فعالیت‌های مدیریت لجستیک، و مهم‌تر از همه، ایجاد هماهنگی و همکاری میان اعضا، شامل تأمین‌کنندگان، واسطه‌ها، و مشتریان. درواقع، مدیریت زنجیره تأمین مدیریت عرضه و تقاضا درون و بین شرکت‌ها را یکپارچه می‌کند [۵]. از طرف دیگر، در چند دهه اخیر، باتوجه‌به پیشرفت سریع فناوری، رشد جمعیت و تقاضا، توسعه و افزایش سازمان‌ها در حوزه‌ها و محصولات مختلف، رقابت در زنجیره تأمین برای هر یک از آن‌ها مفهوم پیدا کرده است، چراکه مایل‌اند با استراتژی‌های مناسب، به جذب مشتریان جدید و حفظ مشتریان فعلی بپردازند. همچنین،

ایجاد ارتباط با سایر رقبا جهت کسب سود بیشتر در دنیای تجارت امروز امری اجتناب‌ناپذیر است. علاوه‌برآن، به دلیل تأثیرگذاری قدرت طرفین در این رفتار و نوع هماهنگی و قرارداد بین آن‌ها، بررسی مفهوم رقابت و هماهنگی در زنجیره تأمین و همچنین، نحوه بازی و استراتژی هر یک از طرفین اهمیت بسزایی دارد؛ بنابراین مطالعات و پژوهش‌ها در این زمینه روبه‌افزایش است. ازنظر دسته‌بندی رقابت، طبق ادبیات مربوط به زنجیره تأمین عوامل رقابتی به دودسته تقسیم‌بندی می‌شوند [۶]: عوامل مربوط به قیمت: مانند قیمت محصول، مقدار تولید، میزان موجودی در انبار و عوامل غیرمرتبط باقیمت: مانند تبلیغات، خدمات پس از فروش، کیفیت محصول؛ بنابراین ایجاد هماهنگی میان اعضا می‌تواند بر این عوامل و تصمیم‌گیری اعضا در مورد آن‌ها تأثیرگذار باشد. باتوجه‌به اهمیت هماهنگی میان اعضا زنجیره، اکنون به مفاهیم هماهنگی و نظریه بازی پرداخته خواهد شد.

هماهنگی در مسئله‌هایی تعریف می‌شود که بیش از یک سطح از زنجیره تأمین مورد بررسی باشد. به‌عبارت‌دیگر، ازآنجایی‌که یک زنجیره تأمین شامل تأمین‌کننده، تولیدکننده، خرده‌فروش، مصرف‌کننده و مشتری نهایی، دولت و غیره بوده و هر یک می‌تواند دارای اهداف متضاد با سایرین باشد؛ بنابراین برای کمک به تصمیم‌گیری در مسائل مربوط به این حوزه، استفاده از نظریه بازی راه‌حل مناسبی به نظر می‌رسد که می‌تواند موجب افزایش بهره‌وری در تصمیم عوامل و درنهایت افزایش سود زنجیره گردد؛ بنابراین، مدل‌های هماهنگی به دنبال یافتن راه‌حلی هستند که اعضای مستقل یک زنجیره تأمین قانع شوند تا مشابه باحالتی که زنجیره تأمین به‌صورت متمرکز[۷] اداره می‌شود، تصمیم‌گیری کنند. لازم به ذکر است که باوجود برقراری شرط فوق، ممکن است سود یکی از اجزاء زنجیره، در حالت متمرکز کمتر از حالت غیرمتمرکز خود شده بنابراین حاضر به هماهنگی با سایر اعضا نباشد؛ بنابراین لازم است قراردادهایی جهت ترغیب آن تنظیم شود که به گرفتن تصمیمات حالت متمرکز روی آورد. به‌عبارت‌دیگر لازم است از قراردادهای زنجیره تأمین به‌گونه‌ای استفاده شود که هر دو طرف راضی باشند و تاحدامکان به سود حالت متمرکز برسند [۷].

در راستای مفاهیم هماهنگی، نظریه بازی شاخه‌ای از ریاضیات کاربردی است که در آن برای بیان رفتار و تعامل استراتژیک میان تصمیم‌گیران از مدل ریاضی استفاده می‌شود. در حقیقت زمانی که موفقیت یک فرد به راهبردهای[۶] سایر بازیکنان وابسته باشد، از نظریه ریاضی جهت یافتن راهبرد بهینه برای بازیکنان استفاده می‌شود. مدل‌های نظریه بازی را می‌توان از جنبه‌های متفاوتی بررسی و دسته‌بندی نمود. ازجمله دسته‌بندی‌ها می‌توان به بازی همکارانه و غیرهمکارانه[۸] اشاره کرد، در بازی‌های همکارانه، رقابتی بین بازیکنان وجود ندارد و شرکت‌کنندگان تمایل دارند تا به توافق‌های مشترک برسند. دو احتمال برای این نوع بازی، شامل رویکرد چانه‌زنی - قراردادها و رویکرد ائتلاف وجود دارد. در بازی‌های غیرهمکارانه، بازیکنان رقیب یکدیگر هستند و بین آن‌ها تضاد و اختلاف وجود دارد. در واقع، در این بازی هر یک از اعضا یک استراتژی را دنبال کرده و هریک از رقبا سعی در حداکثرسازی سود خود بدون توجه به سود رقیب دارد. ازنظر تعادل در بازی نیز مهم‌ترین مفاهیم مربوط به نظریه بازی، تعادل نش[۹] و تعادل استکلبرگ[۱۰]می‌باشد که کاربرد فراوانی در اقتصاد نیز پیدا کرده است.

در مدیریت زنجیره تأمین، هدف هماهنگ‌سازی هریک از بخش‌ها در زنجیره، تولید و توزیع محصول باکیفیت و با قیمت مناسب به مشتری است، چراکه فعالیت‌های هریک از بخش‌ها در انجام مناسب فعالیت‌های بخش‌های دیگر به‌شدت تأثیرگذار است [۸]. نظریه هماهنگی، دامنه وسیعی از مباحث و جنبه‌های مختلف ارتباط میان اعضای زنجیره تأمین را بیان می‌کند. هماهنگی میان اعضای زنجیره غیرمتمرکز را می‌توان با استفاده از مکانیزم‌های هماهنگی و از طریق ایجاد انگیزه در اعضای زنجیره ایجاد کرد، به‌نحوی‌که در بهینه‌سازی شبکه زنجیره تأمین مشارکت کنند. قراردادهای زنجیره تأمین به‌عنوان ابزاری برای هماهنگی در رابطه تجاری بین دو یا چند شرکت‌کننده مستقل در زنجیره تأمین استفاده می‌شود [۹]. هماهنگی اعضای زنجیره تأمین انرژی زیستی نیز از جمله موضوعات مهم می‌باشد. به‌طورکلی، زنجیره تأمین انرژی زیستی، شامل مراحلی ازجمله تهیه مواد اولیه و فرایند استخراج

آن‌ها، ذخیره‌سازی، مسیرهای فناوری و درنهایت، تولید محصولات نهایی زیست‌توده برای تبدیل‌شدن به انرژی موردنظر، است. در حال حاضر، این نوع انرژی متناسب با منبع مورداستفاده، شامل اتانول زیستی[۱۴] و دیزل زیستی[۱۵] است که می‌توان از آن به‌صورت ترکیبی با سوخت فسیلی جهت مصارف حمل‌ونقل استفاده کرد. منبع مورداستفاده برای این نوع انرژی، زیست‌توده، ماده ای تجدیدپذیر است که برای تولید طیف وسیعی از محصولات، مواد شیمیایی و مصالح استفاده می‌شود. زیست‌توده موجب جذب ثروت و اشتغال‌زایی شده و تأثیرات مثبتی بر اقتصاد، محیط‌زیست و جامعه دارد و به‌طورکلی در راستای اهداف پایدار است [۱۰]. بنابراین زنجیره تأمین زیست‌توده نیز در مطالعات مورد بررسی قرارمی‌گیرد. طبق نظر سامساتلی[۱۶]و همکاران، این این زنجیره شامل مراحل کاشت و رشد زیست‌توده، برداشت، ذخیره‌سازی، حمل‌ونقل، پیش‌پردازش و تبدیل نهایی به انرژی است [۱۱]. در صنعت کشاورزی به طور سنتی، خریدار و تأمین‌کننده هریک به‌صورت مستقل، پیش از فصل رشد، قرارداد خرید را امضا خواهند کرد. سپس، تأمین‌کننده محصولات تولیدشده را به خریدار می‌فروشد. بااین‌حال ممکن است شرایط طبیعی مانند آب‌وهوا یا آفات به‌گونه‌ای باشد که محصولات کشاورزی به مقدار مورد انتظار کشت نشود، بنابراین نیاز است تا پایداری زنجیره تأمین تولید سوخت زیستی با استفاده از قرارداد، تضمین گردد و عملکرد زنجیره تأمین سوخت زیستی را به‌طورکلی بهبود بخشند. از طرفی، باتوجه‌به ویژگی‌های زنجیره تأمین سوخت زیستی، همکاری میان شرکت کشاورزی و کشاورزان در قالب کشاورزی قراردادی می‌تواند موجب افزایش مواد اولیه گردد[۱۲و۱۳و۱۴]. کشاورزان بزرگ معمولاً قادرند محصولات خود را با کارایی بیشتر و با هزینه کمتر تولید کنند. اما همچنان از نظر فناوری و تجهیزات عملیاتی و آگاهی از فناوری‌های جدید از شرکت‌های کشاورزی کمک می‌گیرند. کشاورزان کوچک از نظر شبکه توزیع و دسترسی به بازار، حمایت دولت، و دسترسی به تکنولوژی محدودیت بیشتری دارند، بنابراین می‌توانند با سایر سازمان‌ها همکاری داشته و به‌صورت مؤثر در رقابت با سایر کشاورزان باشند. به طور مثال در یکی از مقالات اشاره شده است که ارائه کمک‌های فناوری در ارتقای کیفیت می‌تواند به کشاورزان کوچک در افزایش درآمد خانوار و بهبود معیشت کمک کرده؛ و فشار جنگل‌زدایی را کاهش دهد[۱۵]. قراردادها برای کشاورزان دسترسی به گستره‌ای از خدمات مدیریتی و فنی را فراهم می‌کند. به عبارتی کشاورزان کوچک از نظر خدمات تولیدی، دسترسی به اعتبار، معرفی فناوری مناسب، انتقال مهارت، و دسترسی به بازارهای قابل‌اعتماد بهره‌مند خواهند شد[۱۶]. شرکت‌ها از کشاورزان کوچک حمایت می‌کنند تا آنها را به سطح قابل‌قبولی از بازار برسانند تا با قرارداد طولانی‌مدت، محصولات موردنیاز کشور را تولید کرده و درعین‌حال موجب افزایش بهره‌وری در صنعت کشاورزی و افزایش درآمد خانوارهای روستایی گردد. به عنوان مثال، می‌توان به شرکت کارگیل[۱۷] اشاره کرد. این شرکت، یکی از پیشروان در زمینه کشاورزی، مواد غذایی و تجارت مرتبط با آن است و در تمام مراحل فراوری از کشاورزی و دامپروری تا پردازش، توزیع و بازاریابی محصولات غذایی و دامی، و همچنین تولید زیست‌توده مشارکت دارد. به اعتقاد این شرکت، کشاورزان متولیان اصلی آب و خاک هستند و امروزه، آنها با اطلاعات و فناوری‌های جدیدی که دارند می‌توانند عملیات آنها را در راستای بهره‌وری بیشتر و پایداری پیش ببرند. اگر همه کشاورزان به ابزارها، فناوری و آموزش‌هایی دسترسی داشته باشند، می‌تواند به آنها در تصمیم‌گیری بهتر برای تجارت و اهداف پایدار کمک کند. متأسفانه، برخی کشاورزان در برخی از نقاط جهان، به این منابع دسترسی ندارند؛ به همین دلیل شرکت‌های کشاورزی مانند کارگیل نقشی بسیار حیاتی دارد[۱۷]. بنابراین؛ در زنجیره موردمطالعه، کشاورزان در جهت افزایش تولید خود از نظر سطح فناوری و قیمت رقابت می‌کنند. شرکت کشاورزی تحت قرارداد همکاری سعی دارد به آنها در زمینه فناوری کمک کند. از سوی دیگر میان پالایشگاه و شرکت

کشاورزی قرارداد تسهیم درآمد وجود دارد تا شرکت را در جهت کمک به کشاورزان در افزایش عرضه محصول کمک کرده و در نهایت موجب افزایش بهره‌وری کل زنجیره تأمین سوخت زیستی گردد.

در این موقعیت‌ها، تئوری بازی ابزاری قدرتمند برای مطالعه مدل‌های ریاضی مربوط به تعارض و همکاری میان اعضای سیستم زنجیره تأمین است. در تئوری بازی‌ها، برای مدل‌سازی تعاملات و رقابت بین طرفین، بسته به رفتار آن‌ها، می‌توان از انواع مختلف بازی‌ها، ازجمله بازی‌های مشارکتی یا غیرمشارکتی، بازی‌های متقارن و نامتقارن، بازی‌های هم‌زمان و ترتیبی استفاده کرد [۱۸]. در این مطالعه، از بازی‌های همزمان و بازی‌های ترتیبی برای بدست آوردن سایر متغیرهای تصمیم زنجیره استفاده شده است که در قسمت بیان مسئله تعریف خواهد شد.

در زنجیره تأمین مورد بررسی، مشابه مدل پنگ[۱۸] و همکاران رقابت عمودی میان شرکت کشاورزی و کشاورزان وجود دارد. از طرف دیگر، طی یک رقابت افقی میان کشاورزان، کشاورز روستایی تحت عنوان کشاورز (الف) در تلاش است با کمک‌گرفتن از شرکت کشاورزی خود را به سطح قابل‌قبولی از بازار رسانده و با کشاورز (ب) که مقیاس بزرگ‌تری دارد رقابت کند. در این راستا، با شرکت کشاورزی همکاری (تسهیم هزینه زیرساخت) ایجاد می‌شود. در کنار آن کشاورز (ب) در جهت حفظ کیفیت محصولات خود و بازار رقابتی، متقاضی همکاری با شرکت کشاورزی در هزینه عملیاتی می‌باشد؛ بنابراین، بر اساس رقابت افقی و عمودی، در مدل ریاضی مورد بررسی، کشاورزان به علت رقابت افقی (از نظر سطح فناوری و قیمت) در یک سطح در نظر گرفته شده‌اند. سطح دوم و سوم نیز مربوط به شرکت کشاورزی و پالایشگاه هستند. به‌عبارت‌دیگر، سطح اول متشکل از دو نوع کشاورز (الف) و (ب) به ترتیب به‌عنوان نماینده کشاورزان کوچک روستایی و کشاورزان با مقیاس بزرگ هستند. شرکت کشاورزی به‌عنوان سطح دوم و پالایشگاه نیز به‌عنوان سطح سوم زنجیره تعریف شده‌اند. در کنار آن، رقابت عمودی میان شرکت کشاورزی و پالایشگاه در نظر گرفته شده است تا بعد از آن تأثیر همکاری میان پالایشگاه و شرکت (تسهیم درآمد) بر سود اعضای زنجیره تحلیل شود.

در قسمت بیان مسئله، به تشریح مسئله و مقایسه دو حالت همکاری و عدم همکاری میان آنها پرداخته خواهد شد.

## ۲. پیشینه تحقیق

مباحث انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، از مهم‌ترین جنبه‌های پایداری هستند. پژوهشگران حوزه‌های مختلف نیز در زمینه انرژی و موضوعات مرتبط با آن، ازجمله انرژی‌های تجدیدپذیر، زنجیره تأمین انرژی، ذخیره و مدیریت انرژی و همچنین فناوری‌های مربوط به تولید انرژی پژوهش‌هایی انجام داده‌اند. ازآنجایی‌که این زمینه، پژوهش و تحقیقات بسیار گسترده‌ای صورت‌گرفته است، و تمرکز این پژوهش بر زنجیره تأمین انرژی زیستی و به‌ویژه زنجیره تأمین زیست‌توده است، بنابراین سعی شده است باوجود پژوهش‌ها و مقالات در این زمینه، پژوهش حاضر نیز به بررسی برخی از آن‌ها بپردازد.

وظیفه و مفاخری، به بررسی هماهنگی زنجیره تأمین انرژی زیست‌توده تحت سیاست‌های انگیزشی دولت با استفاده از نظریه بازی پرداختند. آن‌ها از رویکرد استکلبرگ برای مدل‌سازی دوسطحی تعاملات بین اعضای زنجیره تأمین استفاده کرده و تأثیر سیاست‌های مختلف دولت در هماهنگی میان آنها را تحلیل کردند. نویسندگان بر اهمیت سیاست‌های مستقیم و غیرمستقیم دولت در ترویج استفاده از انرژی زیستی تأکید داشته و بر این باورند که هماهنگی بین عوامل زنجیره تأمین می‌تواند کمک‌کننده باشد [۱۴].

هی[۱۹] و همکاران، با استفاده از نظریه بازی تکاملی، تأثیر سیاست‌های دولت بر زنجیره تأمین انرژی زیستی و مبتنی بر کاهش پسماند گیاهی را مورد بررسی قرار دادند. بازیگران شامل کشاورز، برداشت‌کننده، مسئول فراوری و تولیدکنندگان انرژی زیستی هستند. آنها با مدل‌سازی تعاملات بین اعضا و تحلیل سیاست‌های دولتی مختلف در ترویج توسعه پایدار، به نتایج جالبی رسیدن. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که مقررات دولتی می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در رفتار عوامل زنجیره تأمین داشته باشد و سیاست‌های ترویج همکاری و هماهنگی بین این عوامل، منجر به نتایج پایدارتر خواهد شد [۱۹]. در مطالعه ونگ[۲۰] و همکاران، برنامه‌ریزی بهینه چند دوره‌ای ایستگاه‌های سوخت زیستی با استفاده از روش نظریه بازی دوسطحی انجام شده است. در سطح بالاتر، دولت تلاش می‌کند تا با تعریف سیاست مالیات کربن، توسعه ایستگاه‌های سوخت‌گیری زیستی را تشویق کند. در سطح پایین‌تر،

شرکت‌های سوخت زیستی با استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی، تلاش می‌کنند تا برنامه‌ریزی بهینه برای تعداد ایستگاه‌های سوخت‌گیری و فروش سوخت زیستی انجام دهند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی و روش نظریه بازی دوسطحی در برنامه‌ریزی بهینه ایستگاه‌های سوخت‌گیری زیستی مؤثر واقع می‌شود[۲۰].

طبق بررسی‌های مفاخری و همکاران، ضعف اقتصادی مانع استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در مناطق کوچک، پراکنده و بدون شبکه می‌شود. هماهنگی زنجیره تأمین زیست‌توده می‌تواند در بهبود کارایی هزینه‌ها و ایجاد اعتبار تولید انرژی زیستی از طریق بهینه‌سازی سفارش‌ها و ایجاد مراکز ذخیره‌سازی کمک کند. این مطالعه یک مدل مدیریت زنجیره تأمین با تأمین‌کنندگان متعدد و مناطق مصرف نهایی ارائه می‌دهد. در این مطالعه استراتژی‌های همکارانه و غیرهمکارانه مقایسه می‌شوند. برنامه‌ریزی سفارش‌ها با ارائه هزینه‌های غیرخطی سفارش و توزیع از طریق موجودی‌های هماهنگ مدل‌سازی شده است[۲۱].

یه[۲۱] و همکاران، در زنجیره تأمین زیست‌توده و عرضه آن، مدلی ارائه دادند که در آن بازی استکلبرگ نیز ادغام‌شده است. برداشت‌کننده به‌عنوان رهبر در مورد میزان برداشت محصول و تولیدکننده سوخت به‌عنوان پیرو در مورد میزان استفاده از زیست‌توده برداشت‌شده تصمیم‌گیری می‌کنند. در این مدل دوسطحی، عدم‌قطعیت به‌عنوان نوآوری تحقیق بوده و در مرحله اول در مورد تصمیمات لجستیکی پالایشگاه زیستی و در مرحله دوم تصمیمات مربوط به جنگل‌داری و عدم‌قطعیت در آن وجود دارد [۸]. فن[۲۲] و همکاران، در پژوهش خود، مدلی جهت بهبود هماهنگی میان اعضای زنجیره تأمین سوخت جامد حاصل از زیست‌توده ارائه دادند؛ به‌طوری‌که سود و کارایی همه بازیگران افزایش یابد. در این مقاله، زنجیره تأمین سه سطحی شامل کشاورزان، واسطه‌ها و تولیدکنندگان با فرض تصادفی بودن زمان سفارش و میزان عرضه و تقاضا در نظر گرفته‌شده و برای هماهنگی میان اعضا، قرارداد "قیمت محافظه‌کارانه و یارانه" بین کشاورزان و تولیدکننده و یک قرارداد "خرید بازگشتی‌ها و تقسیم درآمد" بین واسطه و تولیدکننده تشریح شده است [۲۲]. ون و ژانگ[۲۳]، از تئوری بازی برای مدل‌سازی زنجیره تأمین کاه در چین استفاده کرده و با استفاده از روش‌های هماهنگی، حالت مناسب برای جمع‌آوری کاه به‌عنوان زیست‌توده موردنیاز نیروگاه را تعیین می‌کنند، چراکه مشکل اصلی این نیروگاه‌ها کمبود مالی ناشی از هزینه بالای عملیات و کمبود مواد اولیه است. آن‌ها در مدل خود سه حالت تهیه زیست‌توده را در نظر گرفتند؛ حالت اول تهیه زیست‌توده موردنیاز نیروگاه به طور مستقیم از کشاورزان، حالت دوم تهیه آن از طریق واسطه، حالت سوم ترکیبی از دو حالت قبل. نتیجه به‌دست‌آمده بیانگر آن است که اگر نیروگاه، زیست‌توده خود را مستقیماً از کشاورزان تهیه کند، به سود بالاتری خواهد رسید [۲۳]. یه و همکاران، برای اطمینان از پایداری در تأمین مواد اولیه کشاورزی برای تولید سوخت‌های زیستی و بهبود عملکرد زنجیره تأمین آن، هماهنگی در زنجیره تأمین سوخت‌های زیستی را تحت شرایط عدم‌قطعیت موردمطالعه قراردادند. آن‌ها در مطالعه خود سه نوع قرارداد هماهنگی برای تسهیم ریسک ناشی از تولید، در نظر گرفتند، قرارداد تسهیم ریسک ناشی از تولید بیش از حد، تسهیم ریسک تولید کمتر از حد نیاز و ترکیبی از این دو قرارداد. در انتها به این نتیجه دست یافتند که مدل دارای قرارداد ترکیبی موجب بهینه‌سازی و کارآمد شدن زنجیره تأمین شده و همه بازیگران به‌صورت هم‌زمان به سود بیشتری می‌رسند [۱۲]. سان[۲۴] و همکاران، رقابت بر سر مواد زیست‌توده کشاورزی بین صنایع تولید برق و صنایع تفاله کاه در یک منطقه محلی را بررسی کرده و مدل بازی دوسطحی بر اساس ساختار توزیع زیست‌توده و هزینه جمع‌آوری ارائه دادند، و به تجزیه‌وتحلیل پارامترهایی مانند هزینه واحد حمل‌ونقل و میزان سود پرداختند [۲۴]. سان و همکاران، در پژوهش دیگر خود، جهت تعیین استراتژی‌های بهینه برای مدیریت زنجیره تأمین کشاورزی زیست‌توده، مدل بازی متشکل از یک تأمین‌کننده و دو خریدار برای افزایش سود ارائه دادند. سپس، شرایط صنعتی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته و تأثیرات آن بر پارامترهای مدل و سود اعضا ارزیابی شد [۲۵]. وظیفه و همکاران، از رویکرد نظریه بازی در زنجیره تأمین زیست‌توده، شامل تأمین‌کنندگان، هاب‌ها و تبدیل‌کنندگان انرژی استفاده می‌کنند. برای بررسی تعاملات استراتژیک شرکت‌کنندگان، سه سناریوی تصمیم‌گیری تحت بازی استکلبرگ در نظر گرفته‌شده است تا به بررسی تأثیر توزیع نیرو، نقش پرداخت‌های جانبی در جریان تصمیمات، و درنتیجه، کارایی و بهبود عملکرد را بپردازند [۲۶]. مطالعات دیگری نیز در حوزه سایر انرژی‌های تجدیدپذیر

صورت‌گرفته است. به طور مثال؛ در مقاله لیو[۲۵] و همکاران، در حوزه زنجیره تأمین تجهیزات انرژی بادی، سه قرارداد مبتنی بر تسهیم درآمد و هزینه پیشنهاد شده است. تسهیم درآمد، تولیدکننده تجهیزات را تشویق می‌کند تا کیفیت تجهیزات خود را افزایش دهند. از طرفی ترکیب قرارداد تسهیم درآمد و هزینه نگهداری تعمیرات، منجر به افزایش بهینگی در خروجی خواهد شد [۲۷]. خراجی و همکاران، مدل دوسطحی زنجیره تأمین سلول‌های خورشیدی ارائه دادند که در آن سه سناریو را تحت بازی نش غیرهمکارانه برای دو محصول مدل‌سازی کرده و نتایج این بازی را در مدل ریاضی چند دوره‌ای نیروگاه انرژی خورشیدی قراردادند. در این مدل، فرسایش سلول‌های خورشیدی در نظر گرفته‌شده و درنهایت مدل ارائه‌شده تعیین می‌کند چه تعداد سلول خورشیدی از هر نوع در هر دوره و تحت چه سناریویی باید احداث یا جایگزین شود [۲۸].

علاوه بر موارد مذکور، توجه دولت‌ها به مباحث صرفه‌جویی در مصرف انرژی، مسائل اجتماعی و مالی در سیاست‌هایشان، جهت حل مسائل ملی و جهانی امری اجتناب‌ناپذیر است. از طرف دیگر، زنجیره تأمین‌ها به مقررات دولت و مداخلات مالی پاسخ داده و جهت کسب مزیت رقابتی خود در صنعت رقابت و تلاش می‌کنند [۲۹]. سیاست‌هایی که دولت در زنجیره تأمین می‌تواند اتخاذ کند، به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم و در دودسته تنبیهی و تشویقی تقسیم می‌شوند. در سیاست تنبیهی که به‌نوعی می‌تواند مکانیسم پیشگیرانه باشد، از ابزارهایی مانند مالیات و تعرفه‌ها، به‌عنوان محدودکننده برخی فعالیت‌های آسیب‌رسان استفاده می‌شود و در سیاست تشویقی که انگیزه اعضای زنجیره را برای انجام فعالیت‌های حامی اهداف پایدار افزایش می‌دهد، روش‌هایی مانند یارانه، مجوزهای خاص و غیره که در اختیار دولت است بکار گرفته می‌شود [۳۰و۳۱]. بدین جهت، در مطالعات سال‌های اخیر، توجه به نقش دولت در تصمیم‌گیری‌ها و هماهنگی در زنجیره تأمین پررنگ‌تر شده است. به طور مثال، جیانگ[۲۶] و همکاران، استراتژی بهینه تأمین یارانه دولت برای یک زنجیره تأمین انرژی زیست‌توده، متشکل از نیروگاه، انجمن روستاییان و کشاورز، بررسی می‌کنند. آن‌ها سه استراتژی یارانه برای نیروگاه یا روستاییان و یا کشاورز و تأثیر آن بر هدف دولت را بررسی و مقایسه می‌کنند [۳۲]. باجگیران و جانگ[۲۷]، به بررسی سیاست یارانه‌ای دولت می‌پردازند، بطوریکه به نفع همه اعضا بوده و تولید پیشرفته سوخت زیستی را افزایش داده و به دستور آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا[۲۸] عمل کند. آن‌ها در پژوهش خود دریافتند که با ساخت پالایشگاه‌های بیشتر، دولت یارانه‌های بیشتری نیاز دارد و با قیمت سوخت کمتر، افزایش مصرف در بازار سوخت زیستی، توسعه رفاه اجتماعی را به دنبال خواهد داشت. هم‌چنین، نتیجه حاکی از آن است که پیشرفت فناوری سوخت زیستی، مهم‌ترین عامل در بین پارامترهای در نظر گرفته‌شده است [۳۳]. ژانگ و همکاران، یک بازی تکاملی برای مدل‌سازی میان دولت، شرکت‌های سوخت زیستی و رستوران‌ها، در نظر گرفته و سیاست‌های پیش‌رو در این زنجیره تأمین را بررسی می‌کنند. نتایج نشان می‌دهد که برای دستیابی به این اهداف بلندمدت، دولت‌ها باید در هزینه‌های دفع زباله رستوران‌ها کمک کرده، و هم‌زمان یارانه‌های مربوط به شرکت‌های سوخت زیستی را افزایش دهند [۳۴].

خراجی و یعقوبی، مدل هماهنگی و رقابت در زنجیره تأمین سلول‌های خورشیدی تحت دخالت دولت ارائه دادند. در این زنجیره دوسطحی سه سناریو در بازار رقابتی، شامل وجود تأمین‌کننده داخلی به‌صورت انحصاری در بازار، وجود تأمین‌کننده داخلی و تأمین‌کننده خارجی به‌عنوان رقیب در بازار، دخالت دولت در بازار رقابتی، مورد بررسی قراردادند. آن‌ها سناریو دخالت دولت را تحت شرایط عدم همکاری نش (غیرمتمرکز)، متمرکز و همکاری تجزیه‌وتحلیل کردند. تابع هدف مربوط به نقش دولت به‌عنوان هدف اصلی برای محاسبه تعرفه‌های بهینه دولت تعریف‌شده و اعضای زنجیره تأمین در حالت متمرکز، سود بیشتری نسبت به وضعیت غیرمتمرکز دارند. نتایج نشان می‌دهد که مداخله دولت بر قیمت، کارایی و سود اعضا تأثیر می‌گذارد [۳۵].

## ۳. بررسی شکاف تحقیقاتی

باتوجه‌به مقالات بررسی‌شده در این پژوهش، تعداد محدودی از مقالات به مطالعه مدل‌های هماهنگی زنجیره تأمین زیست‌توده و انرژی زیستی پرداخته‌اند. آن‌ها برای ایجاد همکاری میان اعضا و افزایش سود، قراردادهای میان اعضای زنجیره را بررسی کرده‌اند.

باوجوداینکه تاکنون مطالعات متعددی در خصوص بهینه‌سازی ریاضی زنجیره تأمین انرژی و زیست‌توده وجود

داشته است، این مطالعات همچنان در حال پیشرفت هستند. همچنین، هماهنگی میان اعضای این نوع زنجیره، از موضوعات به‌روز مطرح‌شده در مطالعات است، چراکه هماهنگی میان اعضای آن موجب بازدهی بهتر و سود بیشتر در زنجیره خواهد شد. در پژوهش پیش‌رو، با تأکید بر ضرورت پر کردن خلأ تحقیقاتی، مدل هماهنگی ارائه می‌گردد که نه‌تنها سه سطح از زنجیره سوخت زیستی، شامل کشاورزان، شرکت کشاورزی و پالایشگاه، را در برمی‌گیرد، بلکه قابلیت برقراری هماهنگی میان اعضای مختلف زنجیره تأمین فراهم خواهد کرد. باتوجه‌به مرور ادبیات انجام شده، مطالعه‌ای که هم‌زمان با درنظرگرفتن سطح بالادستی، میان دست و پایین‌دست زنجیره، به مفاهیم فناوری در کشاورزی و تقاضای سوخت زیستی توجه کند وجود نداشته است. به عبارتی دیگر در این مطالعه تقاضای سوخت زیستی در میزان تأمین مواد اولیه یعنی زیست‌توده تاثیر گذار می‌باشد. ازآنجایی‌که قرار است کشاورزان کوچک و بزرگ در تأمین این مواد اولیه نقش داشته باشند، بنابراین بازار رقابتی میان آنها وجود خواهد داشت. طبق ادبیات موجود، جهت بررسی اینکه شرکت کشاورزی می‌تواند در فرایند کشاورزی نقش داشته باشد مفاهیمی چون کشاورزی قراردادی مطرح گردیده است [۱۴و۱۹و۴۸]؛ بنابراین در این مدل نیز حالت همکارانه بین شرکت و هریک از کشاورزان وجود دارد به‌طوری‌که با هریک از آن‌ها قرارداد جداگانه بسته می‌شود. این قراردادها جهت بررسی نقش شرکت کشاورزی در سطح فناوری کشاورزان و سود آن‌ها می‌تواند ارائه می‌گردد. از جهتی دیگر همکاری پالایشگاه نیز با استفاده از قرارداد تسهیم درآمد با شرکت کشاورزی، در راستای بررسی سطح فناوری، افزایش مقدار زیست‌توده و در نهایت، سود اعضای زنجیره بیان می‌گردد. بنابراین سطح فناوری در کشاورزی نیز از جمله موارد مهمی است که باتوجه‌به شکاف تحقیقاتی، می‌توان در مدل‌های هماهنگی زنجیره تأمین به آن پرداخت.

اهدافی که از این تحقیق متصور هستیم عبارت‌اند از:

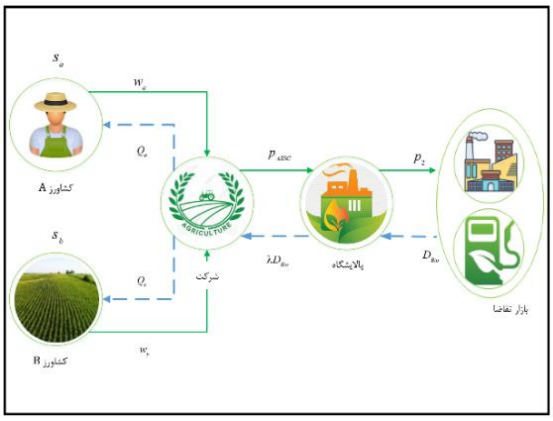
- ایجاد همکاری میان اعضای زنجیره سوخت زیستی باتوجه‌به سطوح فناوری
- بررسی تأثیر سطح سرمایه‌گذاری فناوری هر یک از اعضای زنجیره بر سود خود و سایر اعضا
- توجه به نقش شرکت‌های کشاورزی در تصمیم‌گیری‌ها و سود اعضای زنجیره
- توجه به مفهوم قرارداد همکاری با استفاده از شرکت کشاورزی

## ٤. بیان مسئله و مدل‌سازی

در این بخش، ابتدا به تعریف مسئله به‌صورت مبسوط و بیان جزئیات آن پرداخته شده است در ادامه، پارامترها و متغیرهای تصمیم ارائه‌شده و سپس مدل‌سازی ریاضی بیان می‌شود.

زنجیره تأمین سوخت زیستی متشکل از دو کشاورز تولیدکننده زیست‌توده، شرکت کشاورزی و پالایشگاه زیستی در نظر بگیرید، باتوجه‌به ساختار این زنجیره تأمین که در شکل ۱ نیز قابل‌مشاهده است، کشاورزان (الف) و (ب)، یک شرکت کشاورزی که در برخی از فرایندهای کشاورزی به‌صورت قراردادی مشارکت می‌کند وجود دارند. پالایشگاه زیستی نیز زیست‌توده موردنیاز را متناسب با تقاضای سوخت زیستی از شرکت کشاورزی خریداری می‌کند تا تولید و تأمین سوخت موردنیاز را انجام دهد. لازم به توضیح است که شرکت کشاورزی در مدل ریاضی با نام اختصاری ASSC[۲۹] بیان شده است. مشتریان پالایشگاه شامل صنایع مختلفی ازجمله شرکت‌های سوخت و صنایع آرایشی و بهداشتی هستند. در این مسئله، کشاورز (الف) بیانگر کشاورزان روستایی (کوچک)[۳۰] و دارای زمین‌های کشاورزی کوچک هستند که برای فعالیت‌های کشاورزی خود در مقایسه با کشاورزان با مقیاس بزرگ نیازمند کمک درزمینه زیرساخت فناوری می‌باشند چراکه بر هزینه‌های زیرساخت و عملیاتی و درنهایت سود آن تأثیر می‌گذارد. در مقابل این گروه از کشاورزان، کشاورز (ب) به‌عنوان کشاورزان با مقیاس بزرگ[۳۱] (مدرن) هستند و علیرغم اینکه ممکن است ازنظر فناوری پیشرفته‌تر باشند اما در هزینه‌های مربوط به ماشین‌آلات کشاورزی طی فرآیند برداشت و پیش‌پردازش زیست‌توده و جهت ارسال نیازمند کمک شرکت می‌باشند. عضو بعدی زنجیره شرکت کشاورزی است که در موارد مذکور به کشاورزان کمک کرده و در مقابل به فروش زیست‌توده به پالایشگاه می‌پردازد. این شرکت بر میزان خرید اولیه خود از کشاورز (الف) به جهت

تلاش برای مشارکت دادن و تسهیل کار این کشاورز تصمیم‌گیری کرده و مابقی سفارش خود را جهت تولید سوخت زیستی موردنیاز، از کشاورز (ب) خریداری می‌کند. لازم به ذکر است که شرکت کشاورزی با قیمتی معادل ضریبی مشخص از قیمت کشاورز، به فروش زیست‌توده به پالایشگاه می‌پردازد. بعد از همه این مراحل، پالایشگاه به‌عنوان عضو نهایی زنجیره که در مورد قیمت سوخت زیستی که با پالایشگاه‌های نفتی در رقابت است تصمیم‌گیری می‌کند که در ادامه تابع تقاضای آن بیان خواهد شد. علاوه بر توضیحات فوق، شایان ذکر است که نقش شرکت کشاورزی در این زنجیره جهت کمک به کشاورزان کوچک‌تر برای حضور در بازار و فروش محصولاتشان می‌باشد. در زمینه کمک شرکت کشاورزی به کشاورزان کوچک نیز، از آنجایی که کشاورزان کوچک و روستایی در مقایسه با کشاورزان بزرگ نیاز به حمایت بیشتر در فرایندهای پس از برداشت محصول و توزیع و فروش آن با بازار دارند، بنابراین شرکت کشاورزی در کنار کمک به کشاورزان بزرگ، توجه به کشاورزان روستایی و کوچک را در اهمیت بالاتر قرارمی‌دهد تا موجب رونق اقتصادی در صنعت کشاورزی گردد. در برخی مطالعات نیز با موضوعات مشابه به نقش توزیع کننده به عنوان سطح دوم زنجیره کشاورزی و هماهنگی میان آنها پرداخته شده است. بطور مثال، در زنجیره مورد بررسی پنگ و همکاران، دو کشاورز با دو سطح کیفیت از محصولات، بخشی از محصول را به‌صورت مستقیم یا از طریق توزیع‌کننده به بازار می‌فروشند. در نهایت نیز حالت های مختلف همکاری میان اعضای آن بررسی می‌گردد. [۳۶]. شرکت ADM نیز یکی از شرکت‌های موفق در دنیا است که کشاورزان را به مصرف‌کنندگان متصل می‌کند. این شرکت پردازش و بازرگانی، محصولات زراعی را از کشاورزان سراسر جهان خریداری و توزیع می‌کند. آنها طیف گسترده‌ای از محصولات را از این محصولات تولید و توزیع می‌کنند، از جمله سوخت های زیستی، خوراک دام و مواد غذایی[۳۷].




شکل ۱؛ ساختار زنجیره تأمین موردمطالعه

در این مدل، مشابه مدل کارای[۳۲] و همکاران، تصمیم‌گیری در دو مرحله زمانی[۳۳] صورت می‌گیرد، به این معنا که به دلیل اهمیت بالاتر سطح فناوری و مقدار سفارش اولیه توسط شرکت کشاورزی نسبت به قیمت‌گذاری، این متغیرها ازنظر تصمیم‌گیری در مرحله اول قرار گرفته و بعد از آن به روش استکلبرگ متغیرهای قیمت به دست خواهند آمد [۳۸]. دلیل این نوع تصمیم‌گیری آن است که سطح فناوری تصمیمی استراتژیک است، و تعیین قیمت تصمیمی عملیاتی، بنابراین از نظر ترتیب تصمیم‌گیری، قیمت در مرحله دوم تصمیم‌گیری می‌شود (جدول ۱). برای توضیح بیشتر، باتوجه‌به نظر خبرگان، در صنعت کشاورزی، تعیین سطح فناوری و تعیین قیمت هر دو متغیرهای مهمی هستند و باید باتوجه‌به شرایط بازار و نیازهای مشتریان، به تعادل مناسبی بین آن‌ها دست پیدا کرد. بااین‌حال، در بسیاری از موارد، تعیین سطح فناوری به دلیل توانایی آن در بهبود عملکرد و بهره‌وری در بخش کشاورزی، نوآوری و پایداری در کشاورزی از نظر مصرف آب و استفاده از فناوری‌های جدید در زمینه کاشت و داشت محصولات می‌تواند در تصمیم‌گیری استراتژیک اولویت بالاتری داشته باشد. از طرف دیگر این تصمیم‌گیری می‌تواند موجب تغییر هزینه‌های تولید کشاورزی شده و در نتیجه بر قیمت نهایی محصول نیز تأثیرگذار باشد[۳۹]؛ بنابراین سطح فناوری در مرحله اول و قیمت در مرحله دوم تصمیم‌گیری می‌شود. جهت درک بهتر، ترتیب تصمیم‌گیری مذکور در جدول ۱ ارائه‌شده است.

جدول ۱؛ مراحل مربوط به تصمیم‌گیری اعضا

| مرحله | کشاورز (الف) | کشاورز (ب) | شرکت کشاورزی | پالایشگاه |
|---|---|---|---|---|
| (۱) | $s_a$ | $s_b$ | $Q_0$ | |
| (۲) | $w_a$ | $w_b$ | | $p_2$ |

در ادامه به شرح این نوع حل مسئله پرداخته خواهد شد. ابتدا به تعریف پارامترها و متغیرهای مسئله در جدول ۲ می‌پردازیم.

جدول ۲؛ نمادها و متغیرهای تصمیم مدل ریاضی

| | **پارامترها** |
|---|---|
| A | پتانسیل تقاضای اولیه برای سوخت زیستی |
| $\beta$ | ضریب تأثیر قیمت سوخت زیستی بر تقاضا |
| $\gamma$ | ضریب تأثیر قیمت سوخت فسیلی بر تقاضا |
| $\lambda$ | ضریب تعیین‌کننده مقدار زیست‌توده موردنیاز برای تولید هر لیتر سوخت زیستی |
| $c_{01}$ | هزینه اولیه مربوط به عملیات کشاورز (الف) |
| $c_{02}$ | هزینه اولیه مربوط به عملیات کشاورز (ب) |
| $k_1$ | ضریب مربوط به سطح فناوری کشاورز (الف) که بر میزان سفارش شرکت از کشاورز (الف) تأثیر دارد |
| $k_2$ | ضریب مربوط به قیمت زیست‌توده کشاورز (ب) که بر میزان سفارش شرکت از کشاورز (الف) تأثیر دارد |
| $k_3$ | ضریب مربوط به قیمت زیست‌توده کشاورز (الف) که بر میزان سفارش شرکت از کشاورز (الف) تأثیر دارد |
| $\delta_1$ و $\delta_2$ | به ترتیب، ضرایب سطح فناوری کشاورزان (الف) و (ب) |
| | که مربوط به هزینه عملیاتی آن‌ها است |
| $y$ | ضریب قیمت شرکت کشاورزی |
| $c_{Bio}$ | واحد هزینه‌های مربوط به حمل‌ونقل و عملیات تولید سوخت زیستی توسط پالایشگاه |
| $c_1$ | واحد هزینه حمل‌ونقل و پردازش زیست‌توده توسط شرکت کشاورزی از کشاورز (الف) |
| $c_2$ | واحد هزینه حمل‌ونقل زیست‌توده توسط شرکت کشاورزی از کشاورز (ب) |
| $\tau_a$ | هزینه زیرساخت کشاورز (الف) برای سطح فناوری |
| $\tau_b$ | هزینه زیرساخت کشاورز (ب) برای سطح فناوری |
| $\alpha_1$ | میزان مشارکت شرکت کشاورزی در هزینه‌های زیرساخت و سرمایه‌گذاری در فناوری جدید کشاورز (الف) |
| $\alpha_2$ | میزان مشارکت شرکت کشاورزی در هزینه‌های مربوط به عملیات (ماشین‌آلات و تجهیزات کشاورزی و تعمیرات آن‌ها) برای کشاورز (ب) |
| $\alpha_3$ | درصد تسهیم درآمد پالایشگاه با شرکت کشاورزی |
| | **متغیرها** |
| $s_a$ | سطح فناوری کشاورز (الف) |
| $s_b$ | سطح فناوری کشاورز (ب) |
| $w_a$ | قیمت زیست‌توده توسط کشاورز (الف) |
| $w_b$ | قیمت زیست‌توده توسط کشاورز (ب) |
| $p_2$ | قیمت سوخت فسیلی |
| $Q_0$ | مقدار اولیه سفارش توسط شرکت از کشاورز (الف) |

مفروضات اصلی این مدل به شرح زیر است:

- همان‌طور که قبلاً ذکر شد، کشاورز (الف) نماینده تمام کشاورزان روستایی (کوچک) است که ممکن است در صورت آموزش روش‌های مدرن، کود، سموم دفع آفات، روش‌های آبیاری، تهیه ماشین‌آلات کشاورزی و به‌طورکلی سرمایه‌گذاری در فناوری‌های جدید کشاورزی برای بهبود سطح فناوری[۳۴]، به کمک شرکت کشاورزی نیاز داشته باشند که کشاورز در مورد آن تصمیم می‌گیرد.
- کشاورز (ب) به‌عنوان کشاورزان با مقیاس بزرگ ممکن است برای اجاره و نگهداری برخی ماشین‌آلات کشاورزی یا یادگیری در مورد دستگاه‌های آبیاری و فناوری نوین به کمک شرکت کشاورزی جهت ارتقای کیفیت و کمیت زیست‌توده نیاز داشته باشد.
- شرکت کشاورزی، مانند شرکت کارگیل در دنیای واقعی، در فناوری کشاورزی به کشاورزان کمک می‌کند. در واقع، در هزینه سرمایه‌گذاری برای زیرساخت کشاورز (الف) و هزینه عملیات کشاورز (ب) مشارکت و همکاری می‌کند. هدف از این کار بهبود فرایند کشاورزی به‌ویژه تولید زیست‌توده خام را بهبود داده و افزایش بهره‌وری است[۱۷].
- ازآنجایی‌که هزینه‌های تولید در هر منطقه معین متفاوت است [۴۰]، درنتیجه، قیمت زیست‌توده

نیز به‌عنوان متغیر تصمیم هر دو کشاورز در نظر گرفته می‌شود.

- فرض بر این است که هزینه حمل‌ونقل و اقدامات مربوط به پردازش و سایر اقدامات لازم، به

## ۵. مدل ریاضی

در هماهنگی زنجیره تأمین، درنظرگرفتن مشخصات تقاضا مهم است [۴۰]. عوامل مؤثر بر تقاضای سوخت می‌توانند متنوع و گاه پیچیده باشند. با توجه به شکل زنجیره تأمین پیشنهادی، پالایشگاه از زیست توده استفاده کرده و در نهایت با تولید اتانول زیستی به‌عنوان یکی از محصولات خود آن را به مشتریان نهایی از جمله مراکز سوخت‌گیری عرضه می‌کند. اتانول یک سوخت تجدیدپذیر است که از زیست توده ساخته شده و با بنزین برای افزایش اکتان و کاهش مونوکسید کربن استفاده می شود. رایج ترین ترکیب اتانول E10 (۱۰٪ اتانول، ۹۰٪ بنزین) است و برای استفاده در اکثر خودروهای معمولی بنزینی تا E15 (اتانول ۱۵٪، ۸۵٪ بنزین) تایید شده است. بنابراین، در مراکز سوخت ترکیبی از بنزین و اتانول زیستی ارائه می‌شود که این اتانول از جانب پالایشگاه به‌عنوان یکی از محصولات عرضه می‌گردد[۴۲]. از جمله عوامل کلیدی که بر تقاضای این سوخت تاثیرمی‌گذارد قیمت بنزین و سوخت فسیلی می‌باشد. به‌عبارت دیگر، افزایش قیمت آن موجب افزایش تقاضا برای سوخت زیستی خواهد شد چون مصرف‌کنندگان به‌دنبال جایگزین کردن منابع انرژی ارزان‌تر و پایدارتر هستند[۴۳و۴۴]. تابع تقاضا به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$D_{Bio} = A - \beta p_2 + \gamma p_f \quad 0 < \beta, \gamma < 1 \qquad (۱)$$

در این مدل، به‌منظور اجتناب از پیچیدگی ریاضی، تقاضای سوخت زیستی به‌عنوان تابعی خطی از تقاضای بالقوه بازار، قیمت سوخت زیستی و قیمت سوخت فسیلی در نظر گرفته می‌شود تا هنگام بدست آوردن قیمت سوخت زیستی بتوان بررسی کرد که پالایشگاه باتوجه‌به قیمت سوخت فسیلی در بازار، چه قیمتی را در نظر خواهد گرفت. در این مسئله، ازآنجایی‌که برای تولید یک لیتر سوخت زیستی به مقدار خاصی از زیست‌توده نیاز داریم، نرخ $\lambda$ در نظر گرفته می‌شود [۴۰]. بر این اساس، مقدار زیست‌توده موردنیاز برای تقاضای سوخت زیستی $\lambda D_{Bio}$ است. شرکت می‌تواند این مقدار زیست‌توده را از کشاورزان خریده و به قیمت خود، که ضریبی از قیمت کشاورز (ب) شرکت کشاورزی و پالایشگاه اختصاص می‌یابد [۴۱].

- $p_{ASSC}$ به‌صورت ضریبی از قیمت کشاورز (ب) تعیین می‌شود.

است، بفروشد. درنهایت، در سطح سوم زنجیره، پالایشگاه زیستی سوخت زیستی موردنیاز را به مشتریان می‌فروشد. علاوه بر این، به‌منظور نمایش تأثیر سطح فناوری کشاورزان بر سود اعضای زنجیره، به آن‌ها متغیرهای $s_a$ و $s_b$ تخصیص داده می‌شوند. درواقع، مقدار سفارش و هزینه‌های سطح عملیات به این دو متغیر بستگی دارد، به‌طوری‌که هر چه سرمایه‌گذاری در سطح فناوری بیشتر باشد، مقدار سفارش از کشاورز (الف) بیشتر و هزینه‌های سطح عملیات کمتر می‌شود. توجه داشته باشید که هزینه‌های زیرساخت برای سطح فناوری بر اساس برخی مطالعات مرتبط تابع درجه دوم است [۴۵و۴۶]. در این مدل به‌منظور بررسی سطح فناوری، بر اساس نظر خبرگان و بررسی ادبیات، چهار گروه طبقه‌بندی‌شده برای سطح فناوری تعریف شده است[۴۷]:

- کاشت [۰.۵-۰)
- کاشت + آبیاری [۱ و ۰.۵)
- کاشت + آبیاری + برداشت [۱.۵ و ۱)
- کاشت + آبیاری + برداشت + پیش‌فراوری [۲ و ۱.۵)

باتوجه‌به توضیحات بالا، ابتدا در قسمت اول، سود اعضای زنجیره، سطوح فناوری و قیمت بهینه در حالت عدم همکاری[۳۵] و بعد از آن حالت همکاری[۳۶] بین کشاورزان – شرکت کشاورزی در قالب تسهیم هزینه و میان پالایشگاه – و شرکت کشاورزی در قالب تسهیم درآمد مورد بررسی قرار خواهد گرفت. بدین معنا که در حالت عدم همکاری متغیرهای تصمیم اعضای زنجیره بر اساس یک توالی جداگانه به دست خواهد آمد. پس ازآن‌جهت بررسی تأثیر همکاری شرکت کشاورزی بر سود هر دو کشاورز و پالایشگاه، بین شرکت و کشاورز (الف) قرارداد تسهیم هزینه زیرساخت فناوری، میان شرکت و کشاورز (ب) قرارداد تسهیم هزینه عملیات، و میان شرکت و پالایشگاه نیز همکاری تسهیم درآمد وجود خواهد داشت. در ادامه به بیان مفصل این مدل و توالی آن پرداخته خواهد شد.

### ۱،۵ حالت عدم همکاری

در این ساختار هریک از اعضای زنجیره تأمین به‌صورت مستقل و جداگانه تصمیم‌گیری می‌کنند به‌گونه‌ای که تابع سود خود را تاحدامکان افزایش دهند. در ادامه به شرح توابع سود هریک از اعضا پرداخته خواهد شد که در آن‌ها NC[۳۷] به‌اختصار بیانگر حالت عدم همکاری می‌باشد. توابع سود کشاورزان به شکل زیر در نظر گرفته‌شده‌اند:

$$\pi_{F_a}^{NC}\left(s_a, w_a\right) = Q_a\left(w_a - c_a\right) - \tau_a \frac{s_a^2}{2} \quad (۲)$$

$$\pi_{F_b}^{NC}\left(s_b, w_b\right) = Q_b\left(w_b - c_b\right) - \tau_b \frac{s_b^2}{2} \quad (۳)$$

که عبارت اول در هر معادله بیانگر سود حاصل از فروش زیست‌توده است. در این عبارت هزینه عملیات هر یک از کشاورزان (الف) و (ب) به ترتیب عبارت‌اند از:

$$c_a = c_{01}\left(1 - \delta_1 s_a\right) \quad (۴)$$

$$c_b = c_{02}\left(1 - \delta_2 s_b\right) \quad (۵)$$

در این عبارات، هزینه‌های عملیات کشاورزان بسته به سطح فناوری آن‌ها، به‌عنوان یک تابع خطی فرض شده است. در واقع، با فرض هزینه اولیه $c_{01}$ و $c_{02}$ برای عملیات هر کشاورز، هزینه کل عملیات با ضریب مشخصی از سطح فناوری کاهش می‌یابد[۳۹].

همچنین، مقدار سفارش از کشاورزان (الف) و (ب) به ترتیب زیر می‌باشد:

$$Q_a = Q_0\left(1 + k_1 s_a\right) + k_2 w_b - k_3 w_a \quad (۶)$$

$$Q_b = \lambda D_{Bio} - Q_a \quad (۷)$$

در عبارت (۶) با فرض مقدار سفارش اولیه از کشاورز (الف)، به ازای افزایش سطح تکنولوژی کشاورز، مقدار سفارش با ضریبی از سطح تکنولوژی افزایش یافته و به ازای کاهش قیمت آن و افزایش قیمت کشاورز (ب) بعنوان رقیب، مقدار نهایی سفارش افزایش می‌یابد. با استفاده از عبارت (۷) نیز مابقی زیست‌توده مورد نیاز پالایشگاه از طریق کشاورز (ب) فراهم می‌گردد.

در هر یک از توابع سود (۲) و (۳) عبارت دوم نیز بیانگر هزینه زیرساخت فناوری هر کشاورز می‌باشد. این هزینه به‌صورت تابع درجه دوم بر حسب سطح فناوری برای هر کشاورز نشان داده شده است [۴۵و۴۶].

تابع سود شرکت کشاورزی برابر است با:

$$\pi_{ASSC}^{NC}\left(Q_0\right) = p_{ASSC}\lambda D_{Bio} - Q_b\left(w_b + c_1\right) - Q_a\left(w_a + c_2\right) \quad (۸)$$

$$p_{ASSC} = y w_b \quad (۹)$$

که در آن عبارت اول درآمد حاصل از فروش زیست‌توده به پالایشگاه و عبارت دوم و سوم به ترتیب هزینه‌های مربوط به خرید زیست‌توده از کشاورزان (الف) و (ب) هستند. در انتها، تابع سود پالایشگاه به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\pi_B^{NC}\left(p_2\right) = p_2 D_{Bio} - \left(p_{ASSC} + c_{Bio}\right)\lambda D_{Bio} \quad (۱۰)$$

که در آن عبارت اول درآمد حاصل از فروش سوخت و عبارت دوم نیز بیانگر هزینه‌های حمل‌ونقل و عملیات پالایشگاه می‌باشد. در این ساختار جهت به‌دست‌آوردن متغیرهای اعضا، همان‌طور که در ابتدای شرح مسئله بیان شد، فرض بر این است که متغیرهای سطح فناوری کشاورز (الف)( $s_a$ )، کشاورز (ب) ( $s_b$ ) و مقدار سفارش اولیه توسط شرکت کشاورزی ( $Q_0$ ) نسبت به متغیرهای قیمت اهمیت بیشتری دارند.نحوه محاسبات مشابه با ترتیب محاسباتی در مدل کارای و همکاران است[۳۸]. برای توضیح بیشتر، هنگام حل مدل ریاضی، در ابتدا متغیرهای قیمت $w_a$ ،$w_b$ و $p_2$ را به‌دست آورده و سپس در توابع سود شرکت کشاورزی و دو کشاورز جایگذاری می‌شوند تا متغیرهای با درجه اهمیت اول، یعنی $s_a$، $s_b$ و $Q_0$ به‌دست آیند. هنگام محاسبات ریاضی، همانند روند حل بازی‌های استکلبرگ، مطابق مراحل در شکل پیوست-الف، ابتدا شرط تقعر توابع سود کشاورزان و پالایشگاه بررسی می‌گردد. سپس متغیرهای تصمیم مرحله۲ (یعنی $w_a$ ،$w_b$ و $p_2$ ) به‌دست می‌آیند، سپس این مقادیر در توابع سود کشاورزان و شرکت کشاوزی جایگذاری می‌شود و پس از بررسی شرط تقعر توابع به‌دست آمده، مقادیر متغیرهایشان (یعنی $s_a$، $s_b$ و $Q_0$) که متغیرهای مرحله ۱ هستند، بدست خواهند آمد (مراجعه به پیوست الف).

برای توضیح بیشتر، در حالت عدم همکاری این مسئله ابتدا جهت بررسی شرط تقعر، از توابع سود کشاورزان و پالایشگاه نسبت به متغیرهای تصمیم $w_a$ ،$w_b$ و $p_2$ مشتق دوم گرفته می‌شود، روابط (۱۱) تا (۱۳) به‌دست می‌آیند.

$$\frac{\partial^2 \pi_{F_a}^{NC}}{\partial w_a^{\,2}} = -2k_3 < 0 \qquad (۱۱)$$

$$\frac{\partial^2 \pi_{F_b}^{NC}}{\partial w_b^{\,2}} = -2k_2 < 0 \qquad (۱۲)$$

$$\frac{\partial^2 \pi_{B}^{NC}}{\partial p_2^{\,2}} = -2\beta < 0 \qquad (۱۳)$$

باتوجه‌به برقراری شرایط تقعر در این روابط، مشتق اول توابع ذکر شده را در نظر گرفته و معادل صفر قرار می‌دهیم، (پیوست الف-۴ تا الف-۶ ) سپس با حل سه معادله و سه مجهول به ترتیب متغیرهای $w_a$ ، $w_b$ و $p_2$ به دست می‌آیند. مقادیر پارامتریک این متغیرها در روابط (۱۴) تا (۱۶) بیان شده‌اند.

$$w_a^{*^{NC}} = \frac{\begin{matrix}2k_2\left(Q_0 + k_1 Q_0 s_a - 2c_{01}k_3\left(-1+s_z\delta_1\right) + c_{02}\left(k_2 - k_2 s_b \delta_2\right)\right) \\ +k_2\left(A + p_f\gamma\right)\lambda + \beta\left(-c_{Bio}k_2 + y\left(Q_0 + k_1 Q_0 s_a + c_{01}\left(k_3 - k_3 s_a \delta_1\right)\right)\right)\lambda^2\end{matrix}}{2k_3\left(3k_2 + y\beta\lambda^2\right)} \qquad (۱۴)$$

$$w_b^{*^{NC}} = \frac{Q_0 + k_1 Q_0 s_a + c_{01}k_3\left(-1+s_z\delta_1\right) + 2c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right) + \lambda\left(-A - p_f\gamma + c_{Bio}\beta\lambda\right)}{-3k_2 - y\beta\lambda^2} \qquad (۱۵)$$

$$p_2^{*^{NC}} = \frac{3k_2\left(A + p_f\gamma\right) + \beta\lambda\left(-y\begin{pmatrix}Q_0 + k_1 Q_0 s_a + c_{01}k_3\left(-1+s_z\delta_1\right) \\ +2c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right)\end{pmatrix}\right) + 3c_{Bio}k_2 + 2y\beta\left(A + p_f\gamma\right)\lambda^2}{2\beta\left(3k_2 + y\beta\lambda^2\right)} \qquad (۱۶)$$

پس از آن، متغیرهای بدست آمده از مرحله قبل را در توابع سود کشاورزان و شرکت کشاورزی (روابط (۲)، (۳) و (۸)) قرار می‌دهیم (پیوست الف-۱۰ تا الف-۱۲) و از آنها به ترتیب نسبت به متغیرهای $s_a$ ، $s_b$ و $Q_0$ مشتق دوم گرفته می‌شود تا شرط تقعر معادلات بررسی گردد.

قضیه: تابع سود کشاورزان (الف)، (ب) و شرکت کشاورزی طبق شرایط تعریف‌شده در روابط (۱۷) تا (۱۹)، مقعر هستند.

$$\frac{\partial^2 \pi_{F_a}^{NC}}{\partial s_a^{\,2}} = \frac{\left(k_1 Q_0 + c_{01}k_3\delta_1\right)^2\left(2k_2 + y\beta\lambda^2\right)^2}{2k_3\left(3k_2 + y\beta\lambda^2\right)^2} - \tau_a < 0 \quad \text{اگر} \quad \frac{\left(k_1 Q_0 + c_{01}k_3\delta_1\right)^2\left(2k_2 + y\beta\lambda^2\right)^2}{2k_3\left(3k_2 + y\beta\lambda^2\right)^2} < \tau_a \qquad (۱۷)$$

$$\frac{\partial^2 \pi_{F_b}^{NC}}{\partial s_b^{\,2}} = \frac{2c_{02}^2 k_2 \delta_2^2\left(k_2 + y\beta\lambda^2\right)^2}{\left(3k_2 + y\beta\lambda^2\right)^2} - \tau_b < 0 \quad \text{اگر} \quad \frac{2c_{02}^2 k_2 \delta_2^2\left(k_2 + y\beta\lambda^2\right)^2}{\left(3k_2 + y\beta\lambda^2\right)^2} < \tau_b \qquad (۱۸)$$

$$\frac{\partial^2 \pi_{ASSC}^{NC}}{\partial Q_0^{\,2}} = -\left(\frac{\left(1+k_1 s_a\right)^2\left(4k_2\left(k_2+k_3\right) + 2y(2k_2 + k_3 y)\beta\lambda^2 + y^2\beta^2\lambda^4\right)}{2k_3\left(3k_2 + y\beta\lambda^2\right)^2}\right) < 0 \qquad (۱۹)$$

$$\left(1+k_1 s_a\right)^2\left(4k_2\left(k_2+k_3\right) + 2y(2k_2 + k_3 y)\beta\lambda^2 + y^2\beta^2\lambda^4\right) > 0 \quad \text{اگر}$$

با توجه به برقراری شرایط تقعر، مشتق اول روابط جدید (پیوست الف-۱۶ تا الف-۱۸) نسبت به $s_a$ ، $s_b$ و $Q_0$ را مساوی صفر قرار می‌دهیم. روابط حاصل شده به دلیل طولانی بودن، در پیوست بیان گردیده است. با حل سه معادله سه مجهول مقادیر بهینه متغیر طبق روابط (۲۰) تا (۲۲) به‌دست می‌آیند:

$$s_a^{*NC} = \frac{\left(k_1 Q_0 + c_{01} k_3 \delta_1\right)\left(2k_2 + y\beta\lambda^2\right)\begin{pmatrix} 2k_2\left(-c_{01}k_3 + Q_0 + c_{02}\left(k_2 - k_2 s_b \delta_2\right)\right) \\ +k_2\left(A + p_f\gamma\right)\lambda - \left(c_{Bio}k_2 + c_{01}k_3 y - Q_0 y\right)\beta\lambda^2 \end{pmatrix}}{-\left(k_1 Q_0 + c_{01}k_3\delta_1\right)^2\left(2k_2 + y\beta\lambda^2\right)^2 + 2k_3\left(3k_2 + y\beta\lambda^2\right)^2\tau_a} \qquad (۲۰)$$

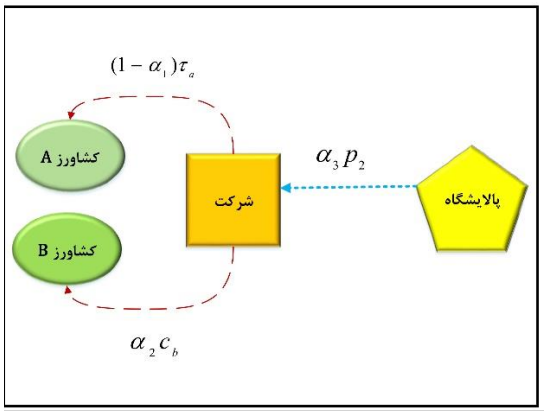
$$s_b^{*NC} = \frac{2c_{02}k_2\delta_2\left(k_2 + y\beta\lambda^2\right)\left(c_{02}k_2 - c_{01}k_3 + Q_0 + k_1 Q_0 s_a + c_{01}k_3 s_a \delta_1 - \left(A + p_f\gamma\right)\lambda + \left(c_{Bio} + c_{02}y\right)\beta\lambda^2\right)}{2c_{02}^2 k_2 \delta_2^2\left(k_2 + y\beta\lambda^2\right)^2 - \left(3k_2 + y\beta\lambda^2\right)^2\tau_b} \qquad (۲۱)$$

$$\begin{aligned} Q_0^{*NC} = \frac{\begin{array}{l} 6c_1k_2^2k_3 - 6c_2k_2^2k_3 - 2Ak_2^2\lambda + 4Ak_2k_3\lambda - 3Ak_2k_3y\lambda - 2k_2^2p_f\gamma\lambda + 4k_2k_3p_f\gamma\lambda \\ -3k_2k_3p_f y\gamma\lambda + 2c_{Bio}k_2^2\beta\lambda^2 - 4c_{Bio}k_2k_3\beta\lambda^2 + 2c_1k_2k_3y\beta\lambda^2 - 5c_2k_2k_3y\beta\lambda^2 \\ +3c_{Bio}k_2k_3y\beta\lambda^2 - Ak_2y\beta\lambda^3 + Ak_3y^2\beta\lambda^3 - k_2p_f y\beta\gamma\lambda^3 + k_3p_f y^2\beta\gamma\lambda^3 + c_{Bio}k_2y\beta^2\lambda^4 \\ -c_2k_3y^2\beta^2\lambda^4 - c_{Bio}k_3y^2\beta^2\lambda^4 + c_{01}k_3\left(-1 + s_a\delta_1\right)\left(2k_2^2 - 4k_2k_3 + k_2y\beta\lambda^2 - 2k_3y^2\beta\lambda^2\right) \\ +2c_{02}k_2\left(-1 + s_b\delta_2\right)\left(2k_2^2 + k_3\left(1-2y\right)y\beta\lambda^2 + k_2\left(-k_3 + y\beta\lambda^2\right)\right) \end{array}}{\left(1 + k_1 s_a\right)\left(4k_2^2 + y^2\beta\lambda^2\left(2k_3 + \beta\lambda^2\right) + 4k_2\left(k_3 + y\beta\lambda^2\right)\right)} \end{aligned} \qquad (۲۲)$$

### ۲.۵. حالت همکارانه

در بخش قبل به محاسبه متغیرهای تصمیم بازیگران در حالت بدون همکاری پرداخته شد.

در زنجیره تأمین مورد بررسی، باتوجه به اینکه قرار است نقش شرکت کشاورزی در زنجیره بررسی شود، سه همکاری در نظر گرفته می‌شود. همکاری اول میان شرکت کشاورزی و کشاورز (الف) و تحت عنوان مشارکت در هزینه زیرساخت است. ازآنجایی‌که کشاورز (الف) در هزینه‌های زیرساخت کشاورزی به کمک مالی شرکت کشاورزی نیاز دارد، بنابراین تنها $\alpha_1$ درصد این هزینه را پرداخت کرده و مابقی آن را شرکت کشاورزی متقبل می‌شود. بطور هم‌زمان، در همکاری دوم، کشاورز (ب) در هزینه‌های مربوط به عملیات کشاورزی خود، از جمله نگهداری و تعمیرات ماشین‌آلات و تجهیزات کشاورزی و یا مواد اولیه موردنیاز کشاورزی، از شرکت کشاورزی به مقدار $\alpha_2$ درصد کمک دریافت می‌کند. از طرف دیگر، به جهت اینکه شرکت کشاورزی تشویق شود به کشاورزان درزمینه ارتقا سطح فناوری کمک کند، پالایشگاه نیز $\alpha_3$ درصد از درآمد خود را تحت عنوان تسهیم درآمد با شرکت کشاورزی به اشتراک می‌گذارد. در واقع با این کار، هزینه کلی کشاورز کاهش می یابد و فرصت برای سرمایه گذاری در سطح فناوری افزایش می‌یابد که می‌تواند بر افزایش مقدار زیست‌توده و درنتیجه فروش سوخت زیستی و سود پالایشگاه تأثیرگذار باشد. درنهایت، جهت درک بهتر این ساختار، شکل ۲ رسم شده است.




شکل ۲؛ حالت همکاری میان اعضای زنجیره

در ادامه مدل‌سازی مسئله در حالت همکاری بیان‌شده است که در آن حرف C [۳۶] به‌اختصار بیانگر حالت همکاری می‌باشد:

توابع سود کشاورزان به شکل زیر در نظر گرفته‌شده‌اند:

$$\pi_{F_a}^{C}\left(s_a, w_a\right) = Q_a\left(w_a - c_a\right) - \alpha_1\tau_a\frac{s_a^2}{2} \qquad (۲۳)$$

$$\pi_{F_b}^{C}\left(s_b, w_b\right) = Q_b\left(w_b - (1-\alpha_2)c_b\right) - \tau_b \frac{s_b^2}{2} \quad (۲۴)$$

که عبارت اول در هر معادله، مانند حالت قبل بیانگر سود حاصل از فروش زیست‌توده است. در قسمت دوم معادله (۲۳) کشاورز (الف) به میزان $\alpha_1$ درصد هزینه زیرساخت را پرداخت می‌کند. در قسمت اول معادله (۲۴)، شرکت کشاورزی به‌اندازه $\alpha_2$ درصد در هزینه عملیاتی کشاورز (ب) کمک می‌کند.

تابع سود شرکت کشاورزی برابر است با:

$$\pi_{ASSC}^{C}\left(Q_0\right) = p_{ASSC}\lambda D_{Bio} - Q_b\left(w_b + c_1\right) - Q_a\left(w_a + c_2\right) - (1-\alpha_1)\tau_a \frac{s_a^2}{2} - \alpha_2 c_b Q_b + \alpha_3 p_2 \quad (۲۵)$$

که در آن عبارت اول درآمد حاصل از فروش زیست‌توده به پالایشگاه و عبارت دوم و سوم به ترتیب هزینه‌های مربوط به خرید و پردازش زیست‌توده از کشاورز (الف) و (ب) است. عبارت چهارم هزینه ناشی از تسهیم هزینه کشاورز (الف) در زیرساخت و عبارت پنجم برگرفته از تسهیم هزینه عملیات می‌باشد. در عبارت آخر نیز بخشی از درآمد پالایشگاه با شرکت به اشتراک گذاشته شده است.

در انتها، تابع سود پالایشگاه به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\pi_B^C\left(p_2\right) = \left(1-\alpha_3\right)p_2 D_{Bio} - \left(p_{ASSC} + c_{Bio}\right)\lambda D_{Bio} \quad (۲۶)$$

عبارت اول درآمد حاصل از فروش سوخت است که $\alpha_3$ درصد از درآمدش را با شرکت به اشتراک می‌گذارد. عبارت دوم نیز بیانگر هزینه‌های حمل‌ونقل و عملیات پالایشگاه می‌باشد.

در این ساختار جهت به دست آوردن متغیرهای اعضا، همانند حالت NC عمل می‌شود؛ با این تفاوت که در این بخش سه پارامتر جدید ($\alpha_1$، $\alpha_2$، $\alpha_3$) تحت عنوان قراردادها اضافه شده است. بنابراین همانند قبل، متغیرهای سطح فناوری کشاورز (الف) ($s_a$)، کشاورز(ب) ($s_b$) و مقدار سفارش اولیه توسط شرکت کشاورزی ($Q_0$) متغیرهای مرحله اول هستند. نحوه محاسبات مطابق ساختار عدم همکاری است.

قضیه: تابع سود کشاورز (الف)، کشاورز (ب) و پالایشگاه مقعر است اگر مشتق دوم توابع سود نسبت به متغیرهای تصمیم هر یک کوچک‌تر از صفر باشد. باتوجه‌به برقراری این شرایط در عبارات (۲۷) تا (۲۹)، مشتق اول آنها را مساوی صفر قرار داده می‌شوند (پیوست ب-۴ تا ب-۶). مقادیر متغیرهای تصمیم $w_a$، $w_b$ و $p_2$ طبق روابط (۳۰) تا (۳۲) برآورد خواهند شد.

$$\frac{\partial^2 \pi_{F_a}^{C}}{\partial w_a^{\,2}} = -2k_3 < 0 \quad (۲۷)$$

$$\frac{\partial^2 \pi_{F_b}^{C}}{\partial w_b^{\,2}} = -2k_2 < 0 \quad (۲۸)$$

$$\frac{\partial^2 \pi_B^C}{\partial p_2^{\,2}} = -2\beta\left(1-\alpha_3\right) < 0 \quad (۲۹)$$

$$w_a^{*C} = \frac{\begin{array}{l} 2c_{01}k_3 + Q_0 + k_1 Q_0 s_a - 2c_{01}k_3 s_a \delta_1 + c_{02}k_2\left(1 - s_b\delta_2\right)\left(1-\alpha_2\right) \\ +\lambda\left(A + p_f\gamma - \left(\begin{array}{l} 3k_2\left(A + p_f\gamma\right) + \beta\left(3c_{Bio}k_2 - y\left(\begin{array}{l} Q_0 + k_1 Q_0 s_a + c_{01}k_3\left(-1 + s_a\delta_1\right) \\ +2c_{02}k_2\left(-1 + s_b\delta_2\right) \end{array}\right)\right)\lambda \\ +2y\beta\left(A + p_f\gamma\right)\lambda^2 - 3k_2\left(A + p_f\gamma\right)\alpha_3 + 2c_{02}k_2 y\beta\left(-1 + s_b\delta_2\right)\lambda\alpha_2 \end{array}\right)\right) \end{array}}{3k_3\,2\left(3k_2 + y\beta\lambda^2 - 3k_2\alpha_3\right)} \quad (۳۰)$$

$$w_b^{*C} = \frac{\begin{pmatrix} -c_{01}k_3 + Q_0 + k_1 Q_0 s_a + c_{01}k_3 s_a \delta_1 + 2c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right) - \left(A+p_f\gamma\right)\lambda \\ +c_{Bio}\beta\lambda^2 + 2c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right)\alpha_2\left(-1+\alpha_3\right) + \alpha_3\begin{pmatrix} -Q_0\left(1+k_1 s_a\right) \\ +c_{01}k_3\left(1-s_a\delta_1\right) - 2c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right) + \left(A+p_f\gamma\right)\lambda \end{pmatrix} \end{pmatrix}}{-3k_2 - y\beta\lambda^2 + 3k_2\alpha_3} \quad (۳۱)$$

$$p_2^{*C} = \frac{\begin{pmatrix} \beta\lambda\left(3c_{Bio}k_2 - y\left(Q_0 + k_1 Q_0 s_a + c_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right) + 2c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right)\right)\right)\lambda \\ +2y\beta\left(A+p_f\gamma\right)\lambda^2 + 2c_{02}k_2 y\beta\left(-1+s_b\delta_2\right)\lambda\alpha_2 + 3k_2\left(A+p_f\gamma\right)\left(1-\alpha_3\right) \end{pmatrix}}{2\beta\left(3k_2 + y\beta\lambda^2 - 3k_2\alpha_3\right)} \quad (۳۲)$$

پس از آن، مقادیر به‌دست‌آمده را در معادلات (۲۳)، (۲۴) و (۲۵) جای‌گذاری کرده (پیوست ب-۱۰ تا ب-۱۲) و شروط بهینگی (تقعر) بررسی خواهد شد.

پس‌از اطمینان از برقراری شرط تقعر، از توابع سود باز تعریف شده نسبت به متغیرهای تصمیم $s_a$، $s_b$، و $Q_0$ مشتق گرفته و مقادیر بهینه آن‌ها طبق روابط (۳۶) تا (۳۸) به دست خواهند آمد.

قضیه: تابع سود کشاورز (الف)، کشاورز (ب) و شرکت کشاورزی طبق شرایط تعریف شده در روابط (۳۳) تا (۳۵)، مقعر هستند.

$$\frac{\partial^2 \pi_{F_a}^C}{\partial s_a^{\,2}} = \frac{1}{4}\left(-4\tau_a\alpha_1 + \frac{2\left(k_1 Q_0 + c_{01}k_3\delta_1\right)^2\left(2k_2 + y\beta\lambda^2 - 2k_2\alpha_3\right)^2}{k_3\left(3k_2 + y\beta\lambda^2 - 3k_2\alpha_3\right)^2}\right) < 0 \quad (۳۳)$$

اگر $\frac{2\left(k_1 Q_0 + c_{01}k_3\delta_1\right)^2\left(2k_2 + y\beta\lambda^2 - 2k_2\alpha_3\right)^2}{k_3\left(3k_2 + y\beta\lambda^2 - 3k_2\alpha_3\right)^2} < 4\tau_a\alpha_1$

$$\frac{\partial^2 \pi_{F_b}^C}{\partial s_b^{\,2}} = -\tau_b + \frac{2c_{02}^2 k_2\delta_2^2\left(-1+\alpha_2\right)^2\left(k_2 + y\beta\lambda^2 - k_2\alpha_3\right)^2}{\left(3k_2 + y\beta\lambda^2 - 3k_2\alpha_3\right)^2} < 0 \quad (۳۴)$$

اگر $\frac{2c_{02}^2 k_2\delta_2^2\left(-1+\alpha_2\right)^2\left(k_2 + y\beta\lambda^2 - k_2\alpha_3\right)^2}{\left(3k_2 + y\beta\lambda^2 - 3k_2\alpha_3\right)^2} < \tau_b$

$$\frac{\partial^2 \pi_{ASSC}^C}{\partial Q_0^{\,2}} = \frac{-\left(1+k_1 s_a\right)^2\begin{pmatrix} -4k_2\left(k_2+k_3\right) + 2y(2k_2+k_3 y)\beta\lambda^2 + y^2\beta^2\lambda^4 \\ +2\alpha_3\left(4k_2\left(k_2+k_3\right) + y(2k_2+k_3 y)\beta\lambda^2 - 2k_2\left(k_2+k_3\right)\alpha_3\right) \end{pmatrix}}{2k_3\left(3k_2 + y\beta\lambda^2 - 3k_2\alpha_3\right)^2} < 0 \quad (۳۵)$$

اگر $\begin{pmatrix} -4k_2\left(k_2+k_3\right) + 2y(2k_2+k_3 y)\beta\lambda^2 + y^2\beta^2\lambda^4 \\ +2\alpha_3\left(4k_2\left(k_2+k_3\right) + y(2k_2+k_3 y)\beta\lambda^2 - 2k_2\left(k_2+k_3\right)\alpha_3\right) \end{pmatrix} > 0$

$$s_a^{*C} = \frac{\left(k_1 Q_0 + c_{01}k_3\delta_1\right)\left(-2k_2 - y\beta\lambda^2 + 2k_2\alpha_3\right)\begin{pmatrix} 2k_2\left(c_{01}k_3 - Q_0 + c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right)\right) - k_2\left(A+p_f\gamma\right)\lambda \\ +\left(c_{Bio}k_2 + c_{01}k_3 y - Q_0 y\right)\beta\lambda^2 + 2c_{02}k_2^2\left(-1+s_b\delta_2\right)\alpha_2\left(-1+\alpha_3\right) \\ +k_2\left(2c_{02}k_2 - 2c_{01}k_3 + 2Q_0 - 2c_{02}k_2 s_b\delta_2 + A\lambda + p_f\gamma\lambda\right)\alpha_3 \end{pmatrix}}{2k_3\tau_a\alpha_1\left(3k_2 + y\beta\lambda^2 - 3k_2\alpha_3\right)^2 - \left(k_1 Q_0 + c_{01}k_3\delta_1\right)^2\left(2k_2 + y\beta\lambda^2 - 2k_2\alpha_3\right)^2} \quad (۳۶)$$

$$s_b^{*c} = \frac{\begin{pmatrix} 2c_{02}k_2\delta_2\left(-1+\alpha_2\right)\left(-k_2 - y\beta\lambda^2 + k_2\alpha_3\right) \\ \left(\begin{matrix} c_{02}k_2 - c_{01}k_3 + Q_0 + k_1Q_0s_a + c_{01}k_3s_a\delta_1 - \left(A + p_f\gamma\right)\lambda \\ +\left(c_{Bio} + c_{02}y\right)\beta\lambda^2 - \left(\begin{matrix} c_{02}k_2 + Q_0 + k_1Q_0s_a \\ +c_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right) - \left(A + p_f\gamma\right)\lambda \end{matrix}\right)\alpha_3 \\ +c_{02}\alpha_2\left(-k_2 - y\beta\lambda^2 + k_2\alpha_3\right) \end{matrix} \end{pmatrix}}{\begin{matrix} 2c_{02}^2k_2\delta_2^2\left(k_2 + y\beta\lambda^2\right)^2 - \left(3k_2 - y\beta\lambda^2\right)^2\tau_b - 4c_{02}^2k_2\delta_2^2\alpha_2\left(k_2 + y\beta\lambda^2 - k_2\alpha_3\right)^2 \\ +2c_{02}^2k_2\delta_2^2\alpha_2^2\left(k_2 + y\beta\lambda^2 - k_2\alpha_3\right)^2 + k_2\alpha_3\begin{pmatrix} -4c_{02}^2k_2\delta_2^2\left(k_2 + y\beta\lambda^2\right) \\ +6\left(3k_2 + y\beta\lambda^2\right)\tau_b + k_2\left(2c_{02}^2k_2\delta_2^2 - 9\tau_b\right)\alpha_3 \end{pmatrix} \end{matrix}} \quad (۳۷)$$

$$Q_0^{*c} = \frac{\begin{matrix} 6\left(c_1 - c_2\right)k_2^2k_3 - k_2\left(2k_2 + k_3\left(-4+3y\right)\right)\left(A + p_f\gamma\right)\lambda + k_2\begin{pmatrix} 2c_{Bio}\left(k_2 - 2k_3\right) \\ +\left(2c_1 - 5c_2 + 3c_{Bio}\right)k_3y \end{pmatrix}\beta\lambda^2 \\ +y\left(-k_2 + k_3y\right)\beta\left(A + p_f\gamma\right)\lambda^3 - y\left(-c_{Bio}k_2 + \left(c_2 + c_{Bio}\right)k_3y\right)\beta^2\lambda^4 \\ +c_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right)\left(2k_2\left(k_2 - 2k_3\right) + y\left(k_2 - 2k_3y\right)\beta\lambda^2\right) \\ +2c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right)\left(k_2\left(2k_2 - k_3\right) + y\left(k_2 + k_3 - 2k_3y\right)\beta\lambda^2\right) \\ -2c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right)\alpha_2\left(-1+\alpha_3\right)\left(-2k_2\left(k_2 + k_3\right) - \left(k_2 - 2k_3\left(-1+y\right)\right)y\beta\lambda^2 + 2k_2\left(k_2 + k_3\right)\alpha_3\right) \\ +\alpha_3\begin{pmatrix} 12\left(-c_1 + c_2\right)k_2^2k_3 + k_2\left(-3k_3y + A\left(4k_2 - 8k_3 + 6k_3y\right) + 2p_f\left(2k_2 + k_3\left(-4+3y\right)\right)\gamma\right)\lambda \\ +k_2\left(-2c_{Bio}k_2 + c_{Bio}k_3\left(4-3y\right) + \left(-2c_1 + 5c_2\right)k_3y\right)\beta\lambda^2 - y\beta\left(k_3y - \left(k_2 - k_3y\right)\left(A + p_f\gamma\right)\right)\lambda^3 \\ +2c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right)\left(2k_2\left(-2k_2 + k_3\right) - y\left(k_2 + k_3 - 2yk_3\right)\beta\lambda^2\right) + c_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right) \\ \left(-4k_2\left(k_2 - 2k_3\right) + y\left(-k_2 + 2k_3y\right)\beta\lambda^2\right) + k_2\begin{pmatrix} 6\left(c_1 - c_2\right)k_2k_3 + 2c_{01}\left(k_2 - 2k_3\right)k_3\left(-1+s_a\delta_1\right) \\ +2c_{02}k_2\left(2k_2 - k_3\right)\left(-1+s_b\delta_2\right) + \begin{pmatrix} -2Ak_2 + Ak_3\left(4-3y\right) + 3k_3y \\ -2k_2p_f\gamma + k_3p_f\left(4-3y\right)\gamma \end{pmatrix}\lambda \end{pmatrix}\alpha_3 \end{pmatrix} \\ \left(1+k_1s_a\right)\begin{pmatrix} 4k_2\left(k_2 + k_3\right) + 2y\left(2k_2 + k_3y\right)\beta\lambda^2 + y^2\beta^2\lambda^4 + 4k_2\left(k_2 + k_3\right)\alpha_3^2 - \\ 2\left(4k_2\left(k_2 + k_3\right) + y\left(2k_2 + k_3y\right)\beta\lambda^2\right)\alpha_3 \end{pmatrix} \end{matrix}} \quad (۳۸)$$

## ٦. تحلیل حساسیت و بررسی نتایج

در این بخش، جهت بررسی و تحلیل نتایج، به ارائه چند مثال عددی و در نهایت، تحلیل نمودارها پرداخته می‌شود. مقادیر مشترک در مثال‌های عددی در جدول ۳ مشاهده می‌شوند. در این جدول، پارامترها بر اساس نمونه واقعی و سایت‌های مرتبط با انرژی و همچنین، مقالات و آمار منتشر شده از بخش کشاورزی می‌باشد. در مثال‌های عددی نیز براساس نظر خبرگان پارامترها تغییر یافته و نتایج بدست آمده در جدول ۴ ارائه گردیده است. در انتها، جهت اثبات کارایی و اعتبار مدل‌های ارائه‌شده، نتایج حاصل از حل عددی آن‌ها را با یکدیگر مقایسه کرده و سپس با انجام تحلیل حساسیت، تغییرات توابع سود و برخی متغیرهای تصمیم را نسبت به پارامترهای مختلف مسئله بررسی می‌گردد.

جدول ۳؛ مقادیر پارامترهای مشترک در مثال‌ها

| پارامتر | مقدار | پارامتر | مقدار | پارامتر | مقدار |
|---|---|---|---|---|---|
| $A$ | ۵۰۰۰۰۰ | $c_{01}$ | ۸،۵ | $\delta_1$ | ۰،۱۹ |
| $\beta$ | ۸۹۵۰۰ | $c_{02}$ | ۱۲ | $\delta_2$ | ۰،۹۲ |
| $\gamma$ | ۶۷۲۰۰ | $k_1$ | ۹۵ | $c_{Bio}$ | ۴۸۰ |
| $\lambda$ | ۰،۰۰۵ | $k_2$ | ۸۰ | $y$ | ۱.۲ |
| $p_f$ | ۱.۴ | $k_3$ | ۴۲ | $c_{01}$ | ۲۵ |
| $\tau_a$ | ۵۰۰۰ | $\tau_b$ | ۳۲۰۰ | $c_{02}$ | ۱۰ |
| $\alpha_1$ | ۰.۲ | $\alpha_2$ | ۰.۶ | $\alpha_3$ | ۰.۳۵ |

جدول ۴ برای نشان دادن کاربرد مدل همکاری پیشنهادی ارائه شده است. با توجه به نظر خبرگان، ضرایب مربوط به قیمت کشاوزان و ضریب سطح فناوری کشاورز الف ($k_1$و $k_2$ و $k_3$) در عبارت $Q_a$ و همچنین، ضرایب مربوط به هزینه‌های عملیات دو کشاورز ($\delta_1$و $\delta_2$) تحت سناریوهای مختلف ارائه گردید. شش ستون اول بیانگر متغیرهای تصمیم هستند و چهار ستون آخر نیز مقادیر سود اعضای زنجیره را نشان می‌دهند.

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود،طبق بررسی سناریوها، همکاری باعث افزایش سطح فناوری و قیمت کشاورزان می‌شود بجز در سناریو اول که موجب کاهش آن برای کشاورز (ب) شده است. برای توضیح بیشتر، از سناریو اول می‌توان دریافت که با ایجاد همکاری میان شرکت و کشاورزان، سطح فناوری کشاورز (الف) حدود ۰.۹ افزایش داشته است. در واقع کشاورز مایل است سطح فناوری خود را تا سطح سوم که در تعریف مسئله بیان شد، ارتقا دهد. این امر موجب کاهش سفارش از کشاورز (ب) خواهد شد؛ بنابراین کشاورز (ب) ناچار خواهد بود برای ماندن در زنجیره رقابتی و افزایش سود خود، قیمت و هزینه‌های خود را کاهش دهد. این‌کار مستلزم آن است که سطح فناوری خود را نسبت به قبل از همکاری کاهش دهد چراکه بر هزینه زیرساخت تأثیرگذار است.

بر خلاف تصور، در تمام سناریوها، قیمت فروش کشاورز (الف) افزایش داشته است (به طور مثال در سناریو اول به میزان ۱۲۹,۷۶۱ دلار). در واقع، با افزایش قابل‌توجه سطح فناوری، هزینه زیرساخت افزایش می‌یابد؛ بنابراین قیمت نهایی کشاورز (الف) نیز زیاد می‌شود تا هزینه‌ها را جبران کرده و سود نهایی را افزایش دهد. قیمت کشاورز (ب) نیز فقط در سناریو اول کاهش یافته است زیرا همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، جهت حفظ یا افزایش مقدار سفارشات خود ، به‌ناچار قیمت خود را کاهش می‌دهد.

در تمام سناریوها توابع سود کشاورزان، شرکت و پالایشگاه نیز در حالت همکاری افزایش می‌یابد. برای کشاورزان بیشترین افزایش سود ناشی از همکاری در سناریو (۴) (به ترتیب به میزان۱۲۶۹.۵۳ و۳۳۲۱.۲۱ دلار) برای شرکت کشاورزی نیز در سناریو (۴) (به مقدار۴۷۱۲۱.۵ دلار) اتفاق افتاده است. در پالایشگاه نیز در سناریو اول به میزان ۱۲۶۶۲۶.۷۲ دلار افزایش سود ناشی از همکاری مشاهده می‌شود.

جهت بررسی دلیل این تغییرات، سود کشاورز (الف) افزایش‌یافته چراکه افزایش سطح فناوری منجر به افزایش میزان سفارش و درنتیجه افزایش سود خواهد شد. در خصوص کشاورز (ب) باوجوداینکه قیمت خود را در حالت همکاری کاهش داده است و می‌تواند موجب کاهش سود شود، شرکت کشاورزی با این کشاورز در هزینه‌های عملیاتی مشارکت می‌کند. این امر موجب کاهش هزینه خواهد شد؛ بنابراین مقدار سود این کشاورز نیز در مقایسه باحالت عدم همکاری افزایش‌یافته است. شرکت نیز علی‌رغم اینکه با کشاورزان در هزینه زیرساخت و هزینه عملیاتی همکاری می‌کند، افزایش سود داشته است چراکه پالایشگاه نیز درصدی از درآمد خود را با آن سهیم می‌شود. درنهایت، باتوجه‌به افزایش قیمت سوخت زیستی در حالت همکاری، سود این عضو نیز افزایش‌یافته است.

طی مقایسه سناریوها با هم در سناریو (۲) با ثابت ماندن سایر پارامترها و افزایش $\delta_i$ می‌توان دریافت که قیمت کشاورزان و پالایشگاه چه در حالت همکاری و چه در عدم همکاری نسبت به سناریو (۱) کاهش می‌یابد. در ادامه مقایسه این دو سناریو نیز مشاهده می‌شود که میزان سفارش اولیه در حالت همکاری به میزان ۴ تن افزایش و در عدم همکاری حدود ۰.۴ تن کاهش یافته است.

طی بررسی سناریو ۳ و۴، با کاهش مقادیر $k_1$ و $k_2$ و افزایش $\delta_i$ و $k_3$، سطح فناوری در هر دو کشاورز افزایش، قیمت کشاورز (الف) کاهش و درکشاورز (ب) افزایش می‌یابد. این افزایش قیمت به‌دلیل جبران افزایش ضریب $k_3$ است تا بتواند میزان سفارش خود را حفظ کند (رابطه (۶)). به دنبال آن، بدلیل کاهش قیمت کشاورز (الف)، میزان سفارش اولیه نیز افزایش یافته است.

به‌طورکلی، در خصوص مقدار سفارش اولیه شرکت، می‌توان گفت همکاری موجب افزایش سطح فناوری شده و در نتیجه آن طبق رابطه (۶)، مقدار $Q_a$ افزایش خواهد یافت. این امر موجب افزایش مقدار سفارش اولیه می‌گردد.

**جدول ۴؛ راه حل های بهینه برای چهار مثال مختلف طبقه بندی شده با مقادیر مختلف $k_i$ و $\delta_i$**

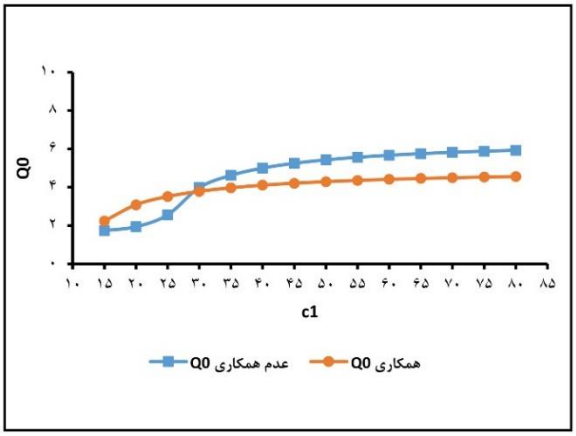
| | $s_a$ | $s_b$ | $w_a$ | $w_b$ | $p_2$ | $Q_0$ | سود کشاورز (الف) | سود کشاورز (ب) | سود شرکت | سود پالایشگاه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سناریو ۱: | $k_1$ = ۹۵ | $k_2$ = ۸۰ | $k_3$ = ۴۲ | $\delta_1$ = ۰.۱۹ | $\delta_2$ = ۰.۹۲ | | | | | |
| حالت عدم همکاری | ۰.۱۹۹۰۷۵ | ۰.۷۹۵۶۲۹ | ۱۳.۸۴۱۲۳ | ۱۰.۴۵۴۱۱ | ۳.۵۱۲۸۷ | ۲.۵۵ | ۷۶۶.۷۲ | ۱۳۹۴.۹۶ | ۹۰۶۴۷.۸۳ | ۱۰۲۰۱۲.۳۴ |
| حالت همکاری | ۱.۱۱۱۴۶ | ۰.۴۲۱۱۱۸ | ۱۵.۱۳۸۸۴ | ۸.۵۰۸۴۷ | ۴.۸۵۰۷۸ | ۲.۹۰۲۵۱ | ۱۹۰۶.۵۲ | ۲۱۹۶.۵۷ | ۱۳۵۵۲۳.۱۶ | ۲۲۸۶۳۹.۰۶ |
| سناریو ۲: | $k_1$ = ۹۵ | $k_2$ = ۸۰ | $k_3$ = ۴۲ | $\delta_1$ = ۰.۳۵ | $\delta_2$ = ۰.۹۸ | | | | | |
| حالت عدم همکاری | ۰.۴۳۲۶۱ | ۰.۱۲۴۵۰۷ | ۱۱.۸۴۳۸ | ۵.۴۸۲۲۳ | ۳.۴۹۷۹۶ | ۶.۰۱۸۱۵ | ۴۳۲.۷۷۱ | ۱۰۸۶ | ۸۹۹۰۵.۴ | ۱۰۴۹۲۹ |
| حالت همکاری | ۱.۲۵۴۷۳ | ۰.۴۲۷۴۶۹ | ۱۳.۷۱۶۷ | ۸.۰۹۵۲۴ | ۴.۸۴۹۲۴ | ۲.۵۳۲۱۶ | ۱۹۸۶.۴۱ | ۱۹۵۹.۹۷ | ۱۳۵۷۲۴ | ۲۲۹۰۳۶ |
| سناریو ۳: | $k_1$ = ۹۰ | $k_2$ =۷۳ | $k_3$ = ۳۰ | $\delta_1$ = ۰.۱۵ | $\delta_2$ = ۰.۲۶ | | | | | |
| حالت عدم همکاری | ۰.۱۸۸۳۵۲ | ۰.۰۳۸۳۱۳ | ۱۳.۱۲۲۱ | ۶.۷۰۶۴۶ | ۳.۵۰۱۶۳ | ۲.۷۸۳۰۵ | ۶۲۰.۵۶۲ | ۱۶۲۸.۳۸ | ۸۹۶۳۸.۲ | ۱۰۴۲۰۷ |
| حالت همکاری | ۰.۵۲۶۲۱۷ | ۰.۱۲۸۳۰۹ | ۱۸.۳۶۶۳ | ۱۱.۲۰۲ | ۴.۸۶۰۸۹ | ۱.۰۲۰۶۴ | ۳۰۸۸.۶۹ | ۳۱۱۷.۱۵ | ۱۳۵۲۰۱ | ۲۲۶۶۲ |
| سناریو ۴: | $k_1$ =۳۲ | $k_2$ = ۱۵ | $k_3$ = ۴۰ | $\delta_1$ =۰.۳۵ | $\delta_2$ =۰.۹۸ | | | | | |
| حالت عدم همکاری | ۰.۵۰۳۴۴۸ | ۰.۱۲۸۶۲۲ | ۱۱.۷۳۸۸ | ۲۰.۵۶۱۸ | ۳.۵۴۳۲ | ۲۰.۴۸۹۸ | ۲۶۳.۷۵۱ | ۵۲۸۲.۹۵ | ۹۴۶۶۱.۵ | ۹۶۲۰۴.۶ |
| حالت همکاری | ۱.۷۰۳۱۶ | ۰.۴۰۷۰۷ | ۱۳.۵۲۲ | ۲۷.۲۰۱۵ | ۴.۹۲۰۸۹ | ۹.۶۶۴۹۱ | ۱۵۳۳.۲۸ | ۸۶۰۴.۱۶ | ۱۴۱۷۸۳ | ۲۱۱۰۵۳ |

در ادامه، به تحلیل حساسیت متغیرهای مهم مسئله و برخی توابع سود اعضای زنجیره تأمین نسبت به تغییرات پارامترهای مختلف مسئله می‌پردازیم.

### ۱.۶. بررسی تأثیر $c_1$ بر توابع سود و میزان سفارش اولیه

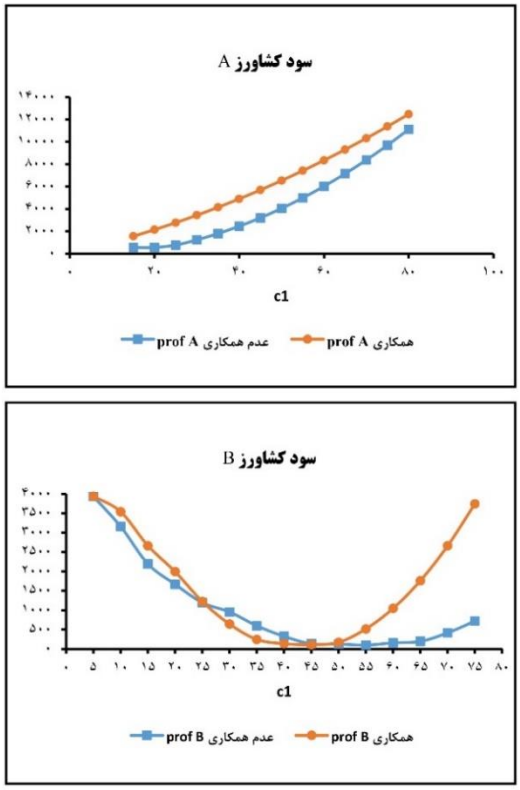
جدول ۳ را در نظر بگیرید. مقادیر تمام پارامترهای موجود در این مسئله را بجز $c_1$ را ثابت پنداشته و فرض کنید $c_1$ بین ۱۰ تا ۸۰ دلار تغییر می‌کند. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است، با افزایش هزینه شرکت برای حمل‌ونقل و پردازش زیست‌توده کشاورز (ب)، میزان سفارش اولیه توسط شرکت که بر سود کشاورز (الف) تأثیر دارد، روندی تقریباً صعودی را طی می‌کند به گونه‌ای که قبل از نقطه $c_1$=۳۰ این مقدار در مدل همکاری بیشتر از حالت عدم همکاری بوده و پس‌ازآن روندی با شیب ملایم و روبه افزایش دارد. دلیل این افزایش آن است که افزایش هزینه منجر به کاهش سفارش از کشاورز (ب) ($Q_0$) کاهش

می‌یابد، بنابراین منجر به افزایش سفارش از کشاورز (الف) می‌گردد.




شکل ۳؛ تفاوت میزان سفارش اولیه میان حالت همکاری و عدم همکاری به‌ازای تغییرات $c_1$

علاوه بر آن، در شکل ۴، ازآنجایی‌که با افزایش مقدار $c_1$ سفارش اولیه شرکت ($Q_0$) روندی رو به افزایش دارد بنابراین در تابع سود کشاورز (الف) نیز تأثیر مثبت دارد بطوریکه باتوجه‌به شیب موجود، افزایش آن در حالت همکاری نسبت به عدم همکاری بسیار قابل توجه است؛ چراکه همکاری موجب افزایش سطح فناوری این کشاورز و درنتیجه میزان سفارش از کشاورز (الف) ($Q_a$) و سود خواهد شد. همچنین، تابع سود در ابتدای بازه در دو حالت همکاری و عدم همکاری مقادیر نزدیک دارند. از طرف دیگر،باتوجه‌به اینکه مابقی سفارشات شرکت از کشاورز (ب) تهیه می‌شود($Q_b = \lambda D_{Bio} - Q_a$)،می‌توان نتیجه گرفت این مقدار کاهش یافته و به دنبال آن موجب کم شدن سود کشاورز (ب) خواهد شد. بنابراین، سود کشاورز (ب) نزولی است تا اینکه در نقطه $c_1$=۲۵، حالت همکاری و عدم همکاری مجدداً مقادیر نزدیک به هم پیداکرده و پس‌ازآن شیب کاهشی در حالت همکاری بیشتر است. همچنین، از نقاط $c_1$=۵۰ و $c_1$=۶۰ به بعد روند صعودی سود به ترتیب برای حلت‌های همکاری و عدم همکاری ادامه می‌یابد.

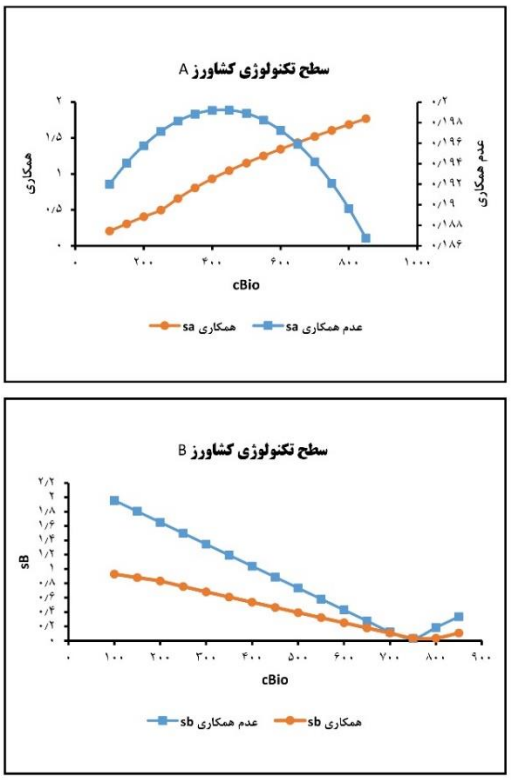



شکل ۴؛ تفاوت سود کشاورزان میان حالت همکاری و عدم همکاری به‌ازای تغییرات $c_1$

## ۲.۶. بررسی تأثیر $c_{Bio}$ بر سطح فناوری

افزایش $c_{Bio}$ منجر به کاهش میزان تقاضای سوخت زیستی و درنتیجه آن کاهش سفارش از کشاورز (ب) می‌شود، بنابراین میزان سفارش از کشاورز (الف) افزایش خواهد یافت که این روند موجب افزایش سطح فناوری این کشاورز می‌شود. اما این روند حدوداً تا نقطه $c_{Bio}$=۴۵۰ ادامه و پس‌ازآن کاهش می‌یابد. دلیل این تغییر آن است که افزایش سطح فناوری هزینه زیرساخت را بالا و درنتیجه سود را کاهش خواهد داد. بنابراین تا نقطه مشخصی این افزایش هزینه سطح فناوری را بالا خواهد برد. برخلاف آن در حالت همکاری این روند افزایشی خواهد بود که به دلیل همکاری شرکت در هزینه زیرساخت کشاورز (الف) است. این تغییرات در شکل ۵ قابل‌مشاهده است. با افزایش $c_{Bio}$ میزان سفارش از کشاورز (ب) کاهش می‌یابد، این کشاورز به‌ناچار سطح فناوری خود را کاهش می‌دهد تا از هزینه‌ها کاسته و سود خود را تا حد امکان افزایش دهد.

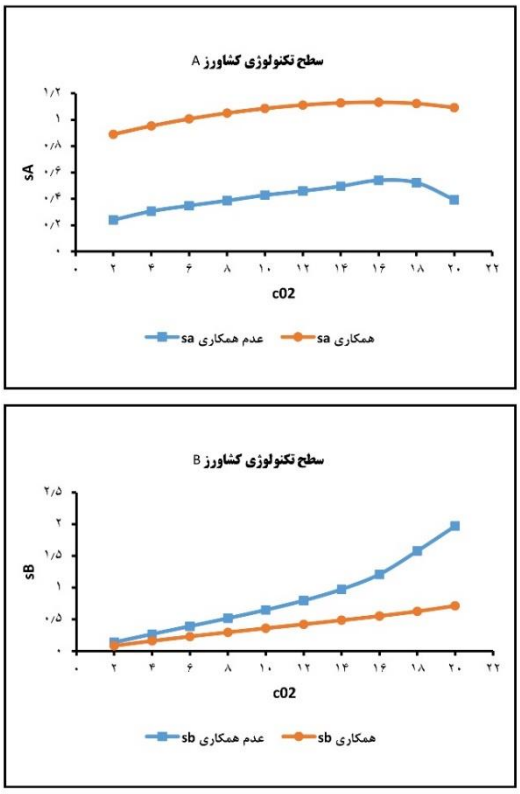
لازم به توضیح است که باوجوداینکه کاهش سطح فناوری منجر به افزایش هزینه عملیاتی می‌گردد، اما تأثیر آن بر هزینه زیرساخت بیشتر خواهد بود.




شکل ۵؛ تغییرات سطح فناوری کشاورزان به‌ازای افزایش $c_{Bio}$

### ۳.۶. بررسی تأثیر $c_{02}$ بر سطح فناوری

همان‌طور که از نمودار سطح فناوری در شکل ۶ مشخص است، با افزایش هزینه اولیه کشاورز (ب)، هزینه عملیات افزایش می‌یابد. درنتیجه برای کاهش این هزینه، سطح فناوری خود را افزایش می‌دهد بنابراین روند آن صعودی است. در خصوص کشاورز (الف) باتوجه‌به افزایش میزان سفارش، سطح فناوری کشاورز (الف) نیز افزایش می‌یابد تا هزینه‌های خود را کاهش دهد. در حالت همکاری به دلیل اینکه بخشی از هزینه زیرساخت توسط شرکت پرداخت می‌شود، می‌توان نتیجه گرفت تمایل کشاورز برای افزایش سطح فناوری افزایش و مقدار آن بیشتر از حالت عدم همکاری می‌باشد. همچنین، باتوجه‌به شکل ۶ می‌توان دریافت با افزایش هزینه اولیه کشاورز (ب)، هزینه عملیات و درنتیجه قیمت فروش افزایش می‌یابد، بنابراین بخش قابل‌توجهی از سفارشات از کشاورز (الف) می‌باشد. پس کشاورز (ب) جهت کاهش هزینه عملیات و درنتیجه افزایش سود خود باید سطح فناوری را افزایش دهد. در نقاط ابتدایی $c_{02}$ سطح فناوری در حالت همکاری و عدم همکاری تقریباً نزدیک به هم هستند اما شیب حالت عدم همکاری بیشتر است چراکه در حالت همکاری، بخشی از هزینه عملیاتی توسط شرکت پرداخت و درنتیجه از هزینه این کشاوز کاسته می‌شود و نیازی به افزایش قابل توجه سطح فناوری ندارد.



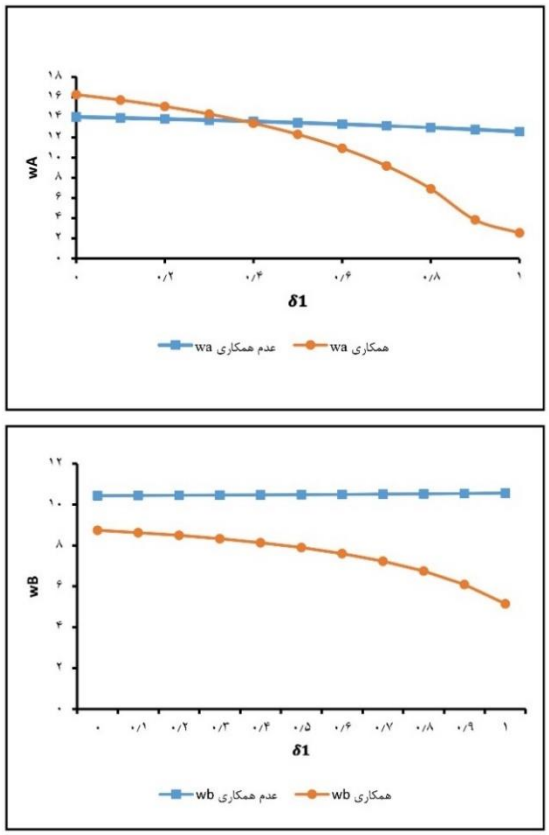

شکل ۶؛ بررسی سطح فناوری کشاورزان بر اساس هزینه اولیه کشاورز (ب)

### ۴.۶. بررسی تأثیر $\delta_1$ بر قیمت کشاورزان

در نمودار قیمت کشاورز (الف)، ازآنجایی‌که با افزایش ضریب سطح فناوری کشاورز (الف) هزینه عملیاتی کاهش می‌یابد، قیمت فروش این کشاورز نیز روندی کاهشی در پیش می‌گیرد که می‌توان در شکل ۷ مشاهده کرد. همچنین ازآنجایی‌که در حالت همکاری، کشاورز تمایل دارد تا سطح فناوری خود را افزایش دهد؛ بنابراین کاهش این قیمت نسبت به حالت عدم همکاری محسوس‌تر است. در نقطه $\delta_1 = ۰.۴$ نیز قیمت در این دو حالت به هم نزدیک می‌باشد.

در نمودار قیمت کشاورز (ب)، ازآنجایی‌که با افزایش

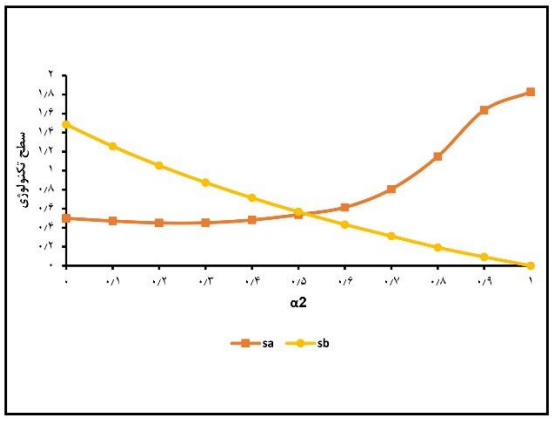
ضـریب فناوری کشـاورز (الف) هزینه عملیات این کشـاورز کاهش می‌یابد، قیمت فروش نیز کم می‌شـــود؛ بنابراین کشـاورز (ب) نیز در رقابت با کشـاورز (الف) قیمت خود را کاهش می‌دهد تا بتواند در بازار محصـول خود را بفروشـد. کاهش این قیمت در حللت همکاری محســـوس‌تر از عدم همکاری می‌باشد.




شکل ۷؛ بررسی تغییرات قیمت کشاورزان بر اساس ضریب سطح فناوری کشاورز (الف)

### ۵.۶. بررسی تأثیر درصد مشارکت کشاورز (الف) در هزینه عملیات ( $\alpha_2$ ) بر سطح فناوری

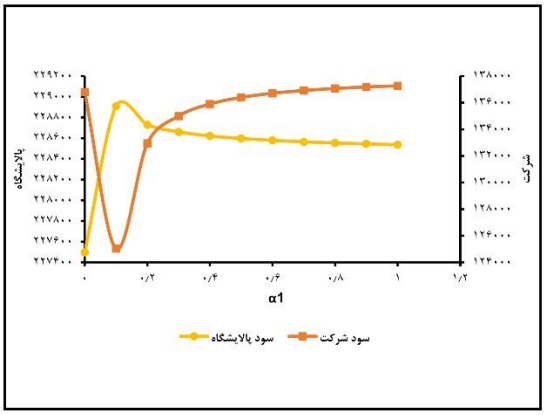
باتوجه‌به شـــکل ۸ می‌توان دریافت با افزایش $\alpha_2$، ســـهم هزینه عملیات برای کشـــاورز (ب) کاهش یافته و نیازی به افزایش سطح فناوری‌اش نمی‌باشد. به دنبال کاهش هزینه عملیات، قیمت این کشـاورز نیز کاهش یافته و در رقابت با کشاورز (الف) سهم بیشتری از سفارش را به خود اختصاص می‌دهد؛ بنابراین کشـاورز (الف) برای حفظ میزان سـفارش خود، سطح فناوری را افزایش می‌دهد.




شکل ۸؛ بررسی تغییرات سطح فناوری بر اساس $\alpha_2$

### ۶.۶. بررسی تأثیر درصد مشارکت کشاورز (الف) برای هزینه زیرساخت ( $\alpha_1$ )

طبق شـکل ۹، این شـرکت از نقطه ۱۰٪= $\alpha_1$ به بعد دارای سـود افزایشـی اسـت. بر خلاف آن، سـود پالایشـگاه تا نقطه مذکور شـیب افزایشـی خواهد داشت. در واقع همان‌طور که پیشـتر بیان شـد، افزایش $\alpha_1$ از نقطه ۱۰٪ منجر به افزایش قیمت کشـــاورز (ب) و درنتیجه، افزایش قیمت شـــرکت کشاورزی و سود آن می‌گردد. بنابراین بر هزینه پالایشـگاه تأثیر داشته و از سود آن کاسته می‌شود.




شکل ۹؛ تغییرات سود شرکت و پالایشگاه بر اساس تغییرات میزان مشارکت کشاورز (الف) در هزینه زیرساخت

## ۷. نتیجه‌گیری

در بخش‌های قبل به شرح مسئله، ارائه مدل و تحلیل حساسیت برخی متغیرها و توابع سود به‌ازای تغییر برخی پارامترها پرداخته شد. نتایج نشان می‌دهند شرکت کشاورزی با همکاری خود در هزینه زیرساخت کشاورز (الف) موجب ارتقای سطح فناوری از کاشت و آبیاری به کاشت، آبیاری و برداشت

می‌شود. برخلاف تصور، باوجوداینکه سطح فناوری کشاورز (ب) افزایش نداشته؛ اما قیمت آن کاهش یافته است که ممکن است سود آن را کاهش دهد. اما به دلیل تقبل بخشی از هزینه عملیات توسط شرکت، سود نهایی در حالت همکاری افزایش یافته است؛ بنابراین کشاورز تمایل به همکاری با شرکت خواهد داشت. ازآنجایی‌که پالایشگاه با تسهیم درآمد خود با شرکت کشاورزی موجب افزایش سفارش اولیه زیست‌توده می‌شود، این مقدار بر تولید پالایشگاه اثر می‌گذارد. در نهایت پالایشگاه با تسهیم درآمد خود موجب افزایش قیمت سوخت زیستی و سود پالایشگاه خواهد شد. بنا بر تمام نتایج بحث شده، می‌توان گفت استفاده از قراردادهای همکاری میان اعضای این زنجیره تأمین و همچنین دخالت شرکت کشاورزی در زمینه ارتقای سطح فناوری می‌تواند در راستای ارتقای سود اعضا و سطح فناوری مؤثر باشد. به‌عبارت‌دیگر، همکاری با شرکت کشاورزی برای کشاورزان کوچک مزایایی دارد از جمله دسترسی به فناوری‌های نوین در زمینه کشاورزی، دسترسی به بازارهای بزرگ‌تر و توانایی رقابت با کشاورزان مدرن جهت فروش محصولات با قیمت بهتر، داشتن منابع مالی و فنی جهت دستیابی به اهداف پایدار از طریق شرکت کشاورزی، کاهش هزینه‌های زیرساخت، افزایش سطح درآمد به دلیل افزایش توانایی تولید و کیفیت محصول، افزایش آگاهی در زمینه کشاورزی و درنتیجه آن، ارتقای کیفیت محصول و افزایش سود. کشاورزان مدرن نیز علی‌رغم داشتن تجهیزات مناسب و بازار بزرگ‌تر می‌توانند از شرکت کشاورزی در زمینه‌های گسترش بازار و فروش محصولات، کاهش هزینه‌های عملیات با استفاده از بهسازی فرایندهای کشاورزی، دسترسی به منابع مالی در نگهداری و تعمیر تجهیزات کمک بگیرد. از سوی دیگر شرکت کشاورزی با کمک به کشاورزان می‌تواند از کمک‌های دولتی بهره‌مند شود. این شرکت‌ها می‌توانند از این طریق کیفیت محصولات دریافت شده از کشاورزان را تضمین کنند و به منابع مالی بیشتری دست یابند.

برای پژوهش‌های آتی می‌توان تقاضای سوخت زیستی و هزینه‌های اولیه کشاورزان را غیرقطعی در نظر گرفت. همچنین می‌توان سناریو عرضه مستقیم کشاورزان به پالایشگاه را بررسی کرد. برای بررسی بیشتر مباحث پایداری نیز می‌توان سطح فناوری را به میزان مصرف آب و فرسایش خاک مرتبط ساخت.

## پانوشت‌ها

1. Agricultural Support Service Company
2. Biofuel
3. Biomass
4. First generation biofuel
5. Second generation biofuel
6. strategy
7. Centralized
8. Cooperative and Non-cooperative
9. Nash Equibrilium
10. Stackelberg Equibrilium
11. Simultaneous
12. Leader-Follower
13. Sequential
14. Bioethanol
15. Biodiesel
16. Samsatli
17. Cargill
18. Peng
19. He
20. Wang
21. KevinYeh
22. Kun Fan
23. Wen & Zhang
24. Jingchun Sun
25. Ru Liu
26. Jiang
27. Bajgiran & Jang
28. US Environmental Protection Agency (EPA)
29. ASSC (Agricultural Support Services Company)
30. Small-holder farmer
31. Large-scale farmer
32. Karray
33. Strategic Timing Decision
34. Technology level
35. Non-Cooperative
36. Cooperative
37. Cooperation Structure

## ۸. مراجع (References)


1. Golchinpour, M., "Effective management of the country's energy sector using energy models", Exploration and Production Monthly, 2018. (in Persian)
2. Ghasemi Ghodrat, A. and Ziloui, H.,"The role and importance of the third generation of biofuels in the world's energy supply," in the 4th International Conference on New Approaches to Energy Conservation, Tehran, 2013. (in Persian)
3. B. T. Office, “Office of energy efficiency & renewable energy,” https://www.energy.gov/eere/bioenergy/bioenergy-basics.
4. Yue, D., You, F. and Snyder, S.W. Biomass-to-bioenergy and biofuel supply chain optimization: Overview, key issues and challenges. Computers & Chemical Engineering, 66, pp.36-56.(2014)
5. Council of Supply Chain Management Professionals, “CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary,” CSCMP, cscmp.org.
6. Cachon, G.P. and Netessine, S. Game theory in supply chain analysis. Models, methods, and applications for innovative decision making, pp.200-233.(2006)
7. Govindan, K., Popiuc, M.N. and Diabat, A. Overview of coordination contracts within forward and reverse supply chains. Journal of cleaner production, 47, pp.319-334.(2013)
8. Yeh, K., Whittaker, C., Realff, M.J. and Lee, J.H. Two stage stochastic bilevel programming model of a pre-established timberlands supply chain with biorefinery investment interests. Computers & Chemical Engineering, 73, pp.141-153,(2015)
9. Razik, A.H.A., Khor, C.S. and Elkamel, A. A model-based approach for biomass-to-bioproducts supply Chain network planning optimization. Food and Bioproducts Processing, 118, pp.293-305.(2019)
10. Samsatli, S., Samsatli, N.J. and Shah, N. BVCM: a comprehensive and flexible toolkit for whole system biomass value chain analysis and optimisation–mathematical formulation. Applied Energy, 147, pp.131-160.(2015)
11. Papapostolou, C., Kondili, E. and Kaldellis, J.K. Development and implementation of an optimisation model for biofuels supply chain. Energy, 36(10), pp.6019-6026.,(2011)
12. Ye, F., Li, Y. and Yang, Q., Designing coordination contract for biofuel supply chain in China. Resources, Conservation and Recycling, 128, pp.306-314,(2018)
13. Ren, Y., Peng, Y., Campos, B.C. and Li, H. The effect of contract farming on the environmentally sustainable production of rice in China. Sustainable Production and Consumption, 28, pp.1381-1395.( 2021)
14. Vazifeh, Z., Mafakheri, F. and An, C. Coordination of bioenergy supply chains under government incentive policies: a game-theoretic analysis. Clean Technologies and Environmental Policy, pp.1-17.(2023)
15. Stabile, M.C., Guimarães, A.L., Silva, D.S., Ribeiro, V., Macedo, M.N., Coe, M.T., Pinto, E., Moutinho, P. and Alencar, A. Solving Brazil's land use puzzle: Increasing production and slowing Amazon deforestation. Land use policy, 91, p.104362.(2020)
16. https://www.fao.org/3/y0937e/y0937e00.pdf

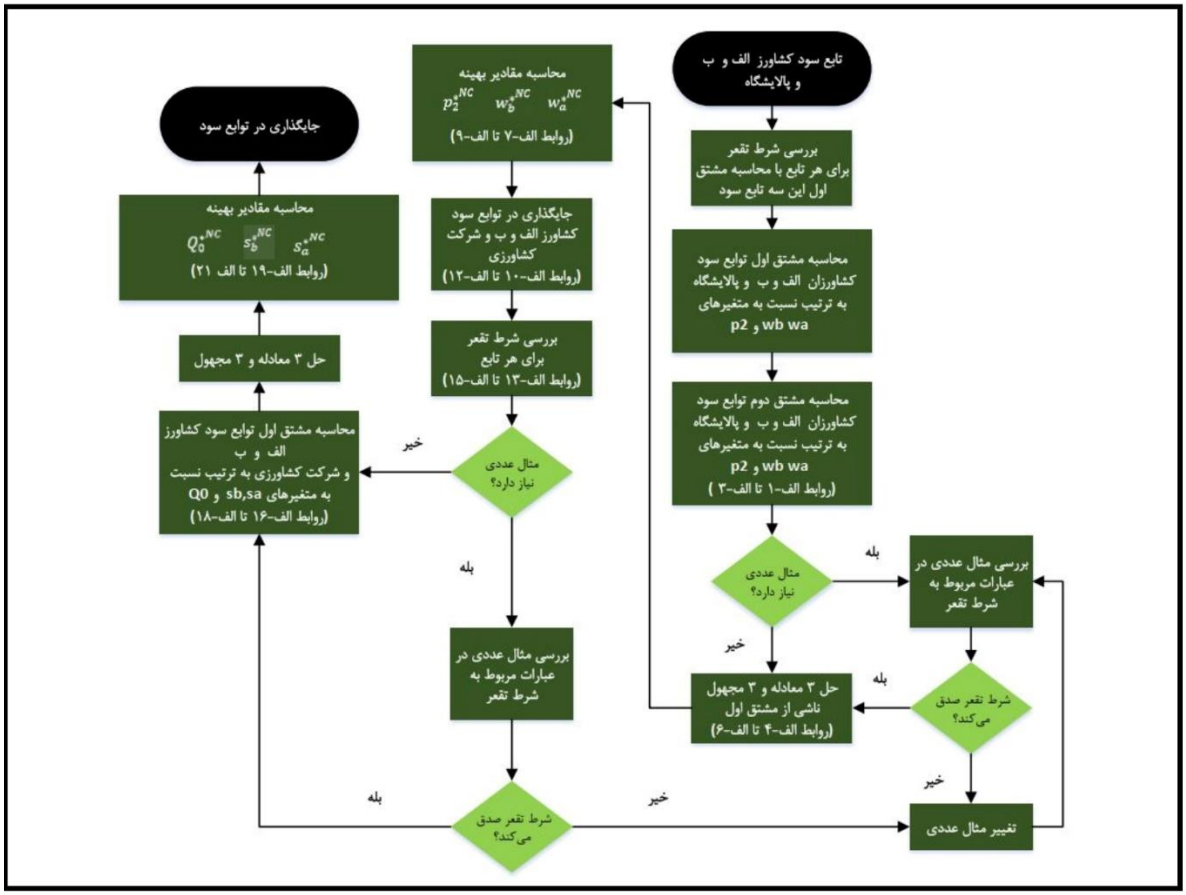
17. https://www.cargill.com/story/perspectives-agriculture-is-how
18. P. K. Dutta, “Strategies and games: Theory and practice,” MIT press, (1999)
19. He, N., Jiang, Z.Z., Huang, S. and Li, K. Evolutionary game analysis for government regulations in a straw-based bioenergy supply chain. International Journal of Production Research, pp.1-22.(2022)
20. Wang, G., Liao, Q., Wang, C., Liang, Y. and Zhang, H. Multiperiod optimal planning of biofuel refueling stations: A bi-level game-theoretic approach. Renewable Energy, 200, pp.1152-1165.(2022)
21. Mafakheri, F., Adebanjo, D. and Genus, A. Coordinating biomass supply chains for remote communities: a comparative analysis of non-cooperative and cooperative scenarios. International Journal of Production Research, 59(15), pp.4615-4632.(2021)
22. Fan, K., Li, X., Wang, L. and Wang, M., Two-stage supply chain contract coordination of solid biomass fuel involving multiple suppliers. Computers & Industrial Engineering, 135, pp.1167-1174, (2019)
23. Wen, W. and Zhang, Q., A design of straw acquisition mode for China's straw power plant based on supply chain coordination. Renewable energy, 76, pp.369-374, (2015)
24. Sun, J.C., Li, P.X. and Hou, L.N., Game equilibrium of agricultural biomass material competition-its assumptions, conditions and probability. Energy Procedia, 5, pp.1163-1171.,(2011)
25. Sun, J., Lin, J. and Qian, Y., Game-theoretic analysis of competitive agri-biomass supply chain. Journal of Cleaner Production, 43, pp.174-181,(2013)
26. Vazifeh, Z., Mafakheri, F. and An, C., Biomass supply chain coordination for remote communities: A game-theoretic modeling and analysis approach. Sustainable Cities and Society, 69, p.102819.(2021)
27. Liu, R., Dan, B., Zhou, M. and Zhang, Y.,Coordinating contracts for a wind-power equipment supply chain with joint efforts on quality improvement and maintenance services. Journal of Cleaner Production, 243, p.118616, (2020)
28. Manouchehrabadi, M.K., Yaghoubi, S. and Tajik, J., Optimal scenarios for solar cell supply chain considering degradation in powerhouses. Renewable energy, 145, pp.1104-1125.,(2020)
29. Hafezalkotob, A., Competition, cooperation, and coopetition of green supply chains under regulations on energy saving levels. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 97, pp.228-250.,(2017)
30. Hafezalkotob, A., Alavi, A. and Makui, A., Government financial intervention in green and regular supply chains: Multi-level game theory approach. International Journal of Management Science and Engineering Management, 11(3), pp.167-177.,(2016)

31. Esmaeili, M., Allameh, G. and Tajvidi, T., Using game theory for analysing pricing models in closed-loop supply chain from short-and long-term perspectives. International Journal of Production Research, 54(7), pp.2152-2169., (2016)
32. Jiang, Z.Z., He, N., Xiao, L. and Sheng, Y., Government subsidy provision in biomass energy supply chains. Enterprise Information Systems, 13(10), pp.1367-1391., (2019)
33. Bajgiran, A.H. and Jang, J., A study of subsidizing a biofuel supply chain to incentivize the production of advanced biofuel: an equilibrium problem with equilibrium constraints approach. International Journal of Energy Research, 45(11), pp.16932-16946.,(2021)
34. Zhang, H., Xu, Z., Zhou, D. and Cao, J., Waste cooking oil-to-energy under incomplete information: Identifying policy options through an evolutionary game. Applied energy, 185, pp.547-555.,(2017)
35. Kharaji Manouchehrabadi, M. and Yaghoubi, S., Solar cell supply chain coordination and competition under government intervention. Journal of Renewable and Sustainable Energy, 11(2)., (2019)
36. Peng, H., Sun, W. and Pang, T. Optimal Strategies for A Dual-Channel Farming Supply Chain with Horizontal Competition and Cooperation. Asia-Pacific Journal of Operational Research, 40(02), p.2250015.( 2023)
37. https://www.adm.com/en-us/about-adm/
38. Karray, S. and Martín-Herrán, G.,Fighting store brands through the strategic timing of pricing and advertising decisions. European Journal of Operational Research, 275(2), pp.635-647.,(2019)
39. Gandhi, V.P., Technology, cost reduction, and returns in agriculture: A study of wheat and rice in Punjab. Vikalpa, 22(2), pp.35-48.(1997)
40. Brechbill, S.C., Tyner, W.E. and Ileleji, K.E., The economics of biomass collection and transportation and its supply to Indiana cellulosic and electric utility facilities. BioEnergy Research, 4, pp.141-152.,(2011)
41. Wicke, B., Smeets, E., Watson, H. and Faaij, A., The current bioenergy production potential of semi-arid and arid regions in sub-Saharan Africa. Biomass and bioenergy, 35(7), pp.2773-2786., (2011)
42. https://www.energy.gov/eere/bioenergy/biofuel-basics
43. Ong, H.C., Mahlia, T.M.I., Masjuki, H.H. and Honnery, D. Life cycle cost and sensitivity analysis of palm biodiesel production. Fuel, 98, pp.131-139.(2012)
44. Winchester, N. and Ledvina, K. The impact of oil prices on bioenergy, emissions and land use. Energy Economics, 65, pp.219-227. (2017)
45. Liu, Y., Quan, B.T., Xu, Q. and Forrest, J.Y.L., Corporate social responsibility and decision analysis in a supply chain through government subsidy. Journal of cleaner production, 208, pp.436-447., pp. 436-447,(2019)
46. Kang, K., Wang, M. and Luan, X., Decision-making and coordination

with government subsidies and fairness concerns in the poverty alleviation supply chain. Computers & Industrial Engineering, 152, p.107058., p. 107058,(2021)
47. Maleki, F., Yaghoubi, S. and Fander, A. Organic level vs. sales effort in coordination of green food supply chain for deteriorating items. Environment, Development and Sustainability, pp.1-33.(2022)
48. Swain, B.B. Determinants of farmers' participation in contract farming: the cases of gherkin and paddy seed in Andhra Pradesh, India. Millennial Asia, 3(2), pp.169-185.(2012)

**پیوست-الف**

در ابتدا لازم است قبل از ارائه توضیحات، به شکل (الف-۱) که روند حل در حالت عدم همکاری را نشان می‌دهد توجه شود.




شکل الف-۱؛ روند حل مسئله در حالت عدم همکاری

در حالت عدم همکاری، ابتدا باید مقادیر متغیرهای مرحله دوم را بدست آوریم تا همانند روش استکلبرگ، آنها را در توابع سود مرحله اول جایگذاری کرده و متغیرهای مرحله اول بدست آیند. به عبارت دیگر از تابع هدف کشاورز (الف) و (ب) و پالایشگاه، متغیر قیمت آنها محاسبه می‌شوند سپس در توابع سود کشاورزان و شرکت کشاورزی جایگذاری شده و متغیرهای تصمیم سطح فناوری و میزان سفارش اولیه به‌دست خواهند آمد. برای اینکار، ابتدا از تابع هدف کشاورزان (الف)، (ب) و پالایشگاه به ترتیب نسبت به متغیرهای $w_a$ ، $w_b$ و $p_2$ مشتق اول گرفته می‌شود. جهت بررسی تقعر این توابع سود نسبت به متغیرهای مذکور مشتق دوم نیز محاسبه می‌گردد:

$$\frac{\partial^2 \pi_{F_a}^{NC}}{\partial w_a^{\,2}} = -2k_3 < 0 \qquad \text{(الف-۱)}$$

$$\frac{\partial^2 \pi_{F_b}^{NC}}{\partial w_b^{\,2}} = -2k_2 < 0 \qquad \text{(الف-۲)}$$

$$\frac{\partial^2 \pi_{B}^{NC}}{\partial p_2^{\,2}} = -2\beta < 0 \qquad \text{(الف-۳)}$$

باتوجه‌به برقرار بودن شرط تقعر، مشتق اول این توابع مساوی صفر قرار می‌دهیم.

(الف-۴)
$$\frac{\partial \pi_{F_a}^{NC}}{\partial w_a} = Q_0 + k_1 Q_0 s_a + k_2 w_b + k_3 \left( c_{01} - 2w_a - c_{01} s_a \delta_1 \right) = 0$$

(الف-۵)
$$\frac{\partial \pi_{F_b}^{NC}}{\partial w_b} = -Q_0 (1 + k_1 s_a) + k_3 w_a + k_2 \left( c_{02} - 2w_b - c_{02} s_b \delta_2 \right) + \left( A - p_2 \beta + p_f \gamma \right) \lambda = 0$$

(الف-۶)
$$\frac{\partial \pi_{B}^{NC}}{\partial p_2} = A - 2p_2 \beta + p_f \gamma + \left( c_{Bio} + w_b y \right) \lambda \beta = 0$$

با حل سه معادله و سه مجهول خواهیم داشت:

(الف-۷)
$$w_a^{*NC} = \frac{\begin{array}{l} 2k_2 \left( Q_0 + k_1 Q_0 s_a - 2c_{01} k_3 \left( -1 + s_z \delta_1 \right) + c_{02} \left( k_2 - k_2 s_b \delta_2 \right) \right) \\ + k_2 \left( A + p_f \gamma \right) \lambda + \beta \left( -c_{Bio} k_2 + y \left( Q_0 + k_1 Q_0 s_a + c_{01} \left( k_3 - k_3 s_a \delta_1 \right) \right) \right) \lambda^2 \end{array}}{2k_3 \left( 3k_2 + y \beta \lambda^2 \right)}$$

(الف-۸)
$$w_b^{*NC} = \frac{Q_0 + k_1 Q_0 s_a + c_{01} k_3 \left( -1 + s_z \delta_1 \right) + 2c_{02} k_2 \left( -1 + s_b \delta_2 \right) + \lambda \left( -A - p_f \gamma + c_{Bio} \beta \lambda \right)}{-3k_2 - y \beta \lambda^2}$$

(الف-۹)
$$p_2^{*NC} = \frac{3k_2 \left( A + p_f \gamma \right) + \beta \lambda \left( -y \begin{pmatrix} Q_0 + k_1 Q_0 s_a + c_{01} k_3 \left( -1 + s_z \delta_1 \right) \\ + 2c_{02} k_2 \left( -1 + s_b \delta_2 \right) \end{pmatrix} \right) + 3c_{Bio} k_2 + 2y \beta \left( A + p_f \gamma \right) \lambda^2}{2\beta \left( 3k_2 + y \beta \lambda^2 \right)}$$

حال با بدست آمدن مقادیر متغیرهای مرحله دوم، آنها را مجدداً در توابع سود کشاورز (الف)، (ب) و همچنین شرکت کشاورزی جایگذاری می‌کنیم تا محاسبات متغیرهای مرحله اول انجام شود.

با جایگذاری مقادیر بهینه $p_2^{*NC}$ , $w_a^{*NC}$ , $w_b^{*NC}$ ,در توابع سود شرکت کشاورزی و کشاورزان خواهیم داشت:

(الف-۱۰)
$$\pi_{F_a}^{NC}(s_a) = \frac{-2s_a^2 \tau_a + \left( \begin{array}{l} 2k_2 \left( Q_0 + k_1 Q_0 s_a + c_{01} k_3 \left( -1 + s_a \delta_1 \right) + c_{02} k_2 \left( 1 - s_a \delta_1 \right) \right) \\ + k_2 \left( A + p_f \gamma \right) \lambda + \beta \lambda^2 \left( -c_{Bio} k_2 + y \left( Q_0 + k_1 Q_0 s_a + c_{01} k_3 \left( -1 + s_a \delta_1 \right) \right) \right) \end{array} \right)^2}{4k_3 \left( 3k_2 + y \beta \lambda^2 \right)^2}$$

(الف-۱۱)
$$\pi_{F_b}^{NC}(s_b) = \frac{-\frac{1}{2} s_b^2 \tau_b + k_2 \left( \begin{array}{l} -Q_0 \left( 1 + k_1 s_a \right) + c_{01} k_3 \left( 1 - s_a \delta_1 \right) + \lambda \left( A + p_f \gamma - c_{Bio} \beta \lambda \right) \\ + c_{02} \left( -1 + s_b \delta_2 \right) \left( k_2 + y \beta \lambda^2 \right) \end{array} \right)^2}{\left( 3k_2 + y \beta \lambda^2 \right)^2}$$

$$\pi^{NC}_{ASSC}(Q_0)=\frac{\begin{pmatrix}-2k_2\left(Q_0+k_1Q_0s_a+c_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right)+c_{02}k_2\left(1-s_b\delta_2\right)\right)-k_2\left(A+p_f\gamma\right)\lambda\\+\beta\left(c_{Bio}k_2-y\left(Q_0+k_1Q_0s_a+c_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right)\right)\right)\lambda^2\end{pmatrix}*\\\begin{pmatrix}-6c_1k_2k_3+6c_2k_2k_3+2\left(k_2+k_3\right)Q_0\left(1+k_1s_a\right)-2c_{02}k_2\left(k_2-2k_3\right)-\left(1+s_b\delta_2\right)\\+\left(k_2-2k_3\right)\left(A+p_f\gamma\right)\lambda+\left(-c_{Bio}\left(k_2-2k_3\right)+\left(-2c_1k_3+2c_2k_3+Q_0+k_1Q_0s_a\right)y\right)\beta\lambda^2\\+c_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right)\left(-4k_2+2k_3-y\beta\lambda^2\right)\end{pmatrix}\\-2k_3\lambda\left(3Ak_2p_f\gamma+\beta\left(-3c_{Bio}k_2+y\left(Q_0+k_1Q_0s_a+c_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right)+2c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right)\right)\right)\lambda\right)*\\\begin{pmatrix}2c_{02}k_2\left(-1+y\right)\left(-1+s_b\delta_2\right)+c_1\left(3k_2+y\beta\lambda^2\right)\\+(-1+y)\left(-c_{01}k_3+Q_0+k_1Q_0s_a+c_{01}k_3s_a\delta_1-\left(A+p_f\gamma\right)\lambda+c_{Bio}\beta\lambda^2\right)\end{pmatrix}}{4K_3\left(3k_2+y\beta\lambda^2\right)^2}$$

(الف-۱۲)

حال نیاز است تا تقعر توابع نسبت به متغیرهای $Q_0,s_b,s_a$ محاسبه گردد.

$$\frac{\partial^2\pi^C_{F_a}}{\partial s_a{}^2}=\frac{1}{4}\left(-4\tau_a\alpha_1+\frac{2\left(k_1Q_0+c_{01}k_3\delta_1\right)^2\left(2k_2+y\beta\lambda^2-2k_2\alpha_3\right)^2}{k_3\left(3k_2+y\beta\lambda^2-3k_2\alpha_3\right)^2}\right)<0$$

(الف-۱۳)

اگر $\frac{2\left(k_1Q_0+c_{01}k_3\delta_1\right)^2\left(2k_2+y\beta\lambda^2-2k_2\alpha_3\right)^2}{k_3\left(3k_2+y\beta\lambda^2-3k_2\alpha_3\right)^2}<4\tau_a\alpha_1$

$$\frac{\partial^2\pi^C_{F_b}}{\partial s_b{}^2}=-\tau_b+\frac{2c_{02}^2k_2\delta_2^2\left(-1+\alpha_2\right)^2\left(k_2+y\beta\lambda^2-k_2\alpha_3\right)^2}{\left(3k_2+y\beta\lambda^2-3k_2\alpha_3\right)^2}<0$$

(الف-۱۴)

اگر $\frac{2c_{02}^2k_2\delta_2^2\left(-1+\alpha_2\right)^2\left(k_2+y\beta\lambda^2-k_2\alpha_3\right)^2}{\left(3k_2+y\beta\lambda^2-3k_2\alpha_3\right)^2}<\tau_b$

$$\frac{\partial^2\pi^C_{ASSC}}{\partial Q_0{}^2}=\frac{-\left(1+k_1s_a\right)^2\begin{pmatrix}-4k_2\left(k_2+k_3\right)+2y(2k_2+k_3y)\beta\lambda^2+y^2\beta^2\lambda^4\\+2\alpha_3\left(4k_2\left(k_2+k_3\right)+y(2k_2+k_3y)\beta\lambda^2-2k_2\left(k_2+k_3\right)\alpha_3\right)\end{pmatrix}}{2k_3\left(3k_2+y\beta\lambda^2-3k_2\alpha_3\right)^2}<0$$

(الف-۱۵)

اگر $\begin{pmatrix}-4k_2\left(k_2+k_3\right)+2y(2k_2+k_3y)\beta\lambda^2+y^2\beta^2\lambda^4\\+2\alpha_3\left(4k_2\left(k_2+k_3\right)+y(2k_2+k_3y)\beta\lambda^2-2k_2\left(k_2+k_3\right)\alpha_3\right)\end{pmatrix}>0$

سپس از توابع فوق به ترتیب نسبت به متغیرهای $Q_0,s_b,s_a$ مشتق اول گرفته می‌شود. با این کار خواهیم داشت:

$$\frac{\partial\pi^{NC}_{F_a}}{\partial s_a}=\frac{\left(k_1Q_0+c_{01}k_3\delta_1\right)\left(2k_2+y\beta\lambda^2\right)*\begin{pmatrix}2k_2\left(Q_0+k_1Q_0s_a+c_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right)+c_{02}k_2\left(1-s_b\delta_2\right)\right)\\+k_2\left(A+p_f\gamma\right)\lambda+\beta\left(-c_{Bio}k_2+y\left(Q_0+k_1Q_0s_a+c_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right)\right)\right)\lambda^2\end{pmatrix}}{2k_3\left(3k_2+y\beta\lambda^2\right)^2}-\tau_as_a$$

(الف-۱۶)

$$\frac{\partial \pi_{F_b}^{NC}}{\partial s_b}=\frac{2c_{02}k_2\delta_2\left(k_2+y\beta\lambda^2\right)\begin{pmatrix}-Q_0\left(1+k_1s_a\right)+c_{01}k_3\left(1-s_a\delta_1\right)\\+\lambda\left(A+p_f\gamma-c_{Bio}\beta\lambda\right)+c_{02}\left(-1+s_b\delta_2\right)\left(k_2+y\beta\lambda^2\right)\end{pmatrix}}{\left(3k_2+y\beta\lambda^2\right)^2}-s_b\tau_b \quad \text{(الف-۱۷)}$$

$$\frac{\partial \pi_{ASSC}^{NC}}{\partial Q_0}=\frac{\left(1+k_1s_a\right)\begin{pmatrix}\begin{pmatrix}-2k_2\left(-3c_{1}k_2k_3+3c_{2}k_2k_3+2\left(k_2+k_3\right)Q_0\left(1-s_b\delta_2\right)\left(1+k_1s_a\right)\right)+k_2\left(2k_2+k_3\left(-4+3y\right)\right)\left(A+p_f\gamma\right)\lambda\\+\beta\lambda^2\left(-2c_{Bio}k_2\left(k_2-2k_3\right)+k_2\left(-2c_{1}k_3+5c_{2}k_3-3c_{Bio}k_3+4Q_0+4k_1Q_0s_a\right)y+2k_3Q_0\left(1+k_1s_a\right)y^2\right)\end{pmatrix}\\+y\left(k_2-k_3y\right)\beta\left(A+p_f\gamma\right)\lambda^3+y\left(-c_{Bio}k_2+\left(\left(c_2+c_{Bio}\right)k_3+Q_0+k_1Q_0s_a\right)y\right)\beta^2\lambda^4\\+2c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right)\left(k_2\left(-2k_2+k_3\right)-y\left(k_2+k_3-2k_3y\right)\beta\lambda^2\right)\\+c_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right)\left(-2k_2\left(k_2-2k_3\right)+y\left(-k_2+2k_3y\right)\beta\lambda^2\right)\end{pmatrix}}{2K_3\left(3k_2+y\beta\lambda^2\right)^2} \quad \text{(الف-۱۸)}$$

باتوجه‌به برقرار بودن شرایط تقعر، روابط (الف-۱۶) تا (الف-۱۸) را مساوی صفر قرار داده و با حل سه معادله و سه مجهول خواهیم داشت:

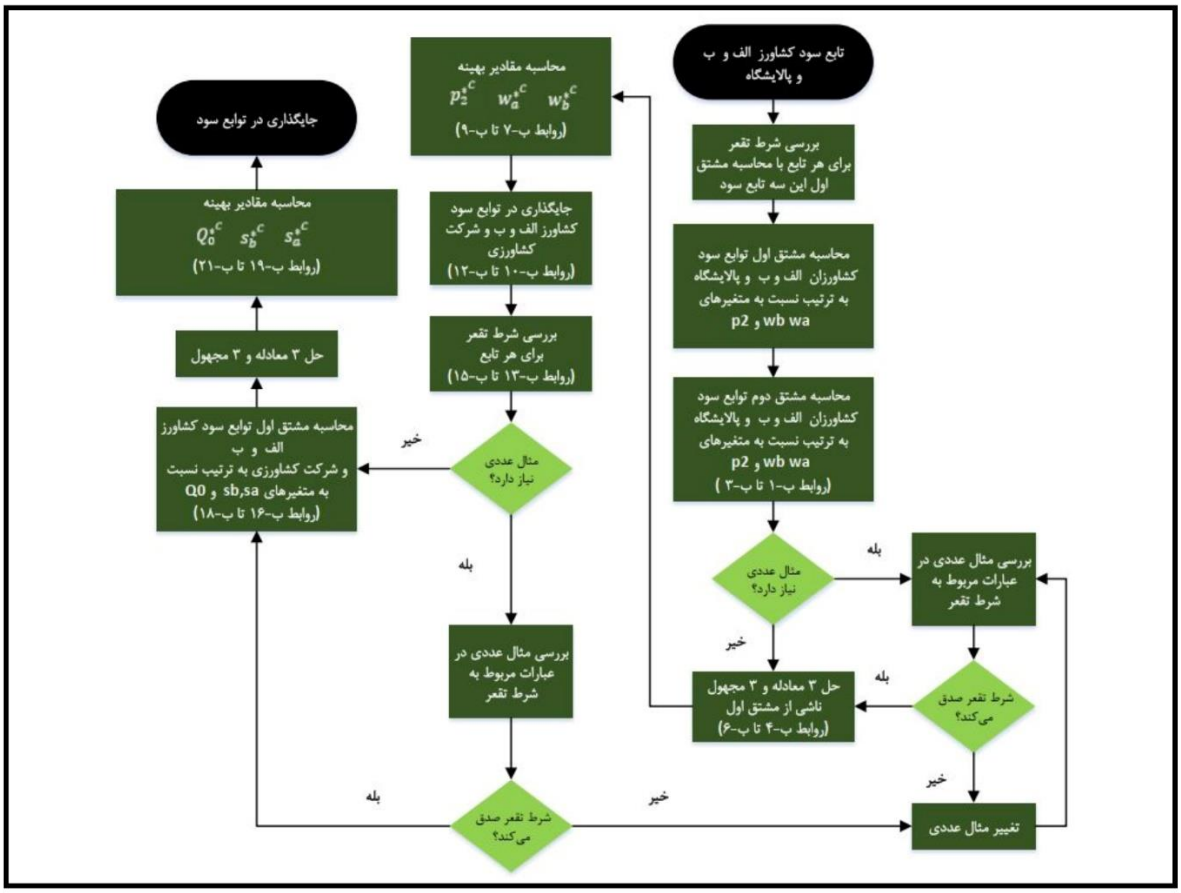
$$s_a^{*NC}=\frac{\left(k_1Q_0+c_{01}k_3\delta_1\right)\left(2k_2+y\beta\lambda^2\right)\begin{pmatrix}2k_2\left(-c_{01}k_3+Q_0+c_{02}\left(k_2-k_2s_b\delta_2\right)\right)\\+k_2\left(A+p_f\gamma\right)\lambda-\left(c_{Bio}k_2+c_{01}k_3y-Q_0y\right)\beta\lambda^2\end{pmatrix}}{-\left(k_1Q_0+c_{01}k_3\delta_1\right)^2\left(2k_2+y\beta\lambda^2\right)^2+2k_3\left(3k_2+y\beta\lambda^2\right)^2\tau_a} \quad \text{(الف-۱۹)}$$

$$s_b^{*NC}=\frac{2c_{02}k_2\delta_2\left(k_2+y\beta\lambda^2\right)\left(c_{02}k_2-c_{01}k_3+Q_0+k_1Q_0s_a+c_{01}k_3s_a\delta_1-\left(A+p_f\gamma\right)\lambda+\left(c_{Bio}+c_{02}y\right)\beta\lambda^2\right)}{2c_{02}^2k_2\delta_2^2\left(k_2+y\beta\lambda^2\right)^2-\left(3k_2+y\beta\lambda^2\right)^2\tau_b} \quad \text{(الف-۲۰)}$$

$$Q_0^{*NC}=\frac{\begin{matrix}6c_1k_2^2k_3-6c_2k_2^2k_3-2Ak_2^2\lambda+4Ak_2k_3\lambda-3Ak_2k_3y\lambda-2k_2^2p_f\gamma\lambda+4k_2k_3p_f\gamma\lambda\\-3k_2k_3p_fy\gamma\lambda+2c_{Bio}k_2^2\beta\lambda^2-4c_{Bio}k_2k_3\beta\lambda^2+2c_1k_2k_3y\beta\lambda^2-5c_2k_2k_3y\beta\lambda^2\\+3c_{Bio}k_2k_3y\beta\lambda^2-Ak_2y\beta\lambda^3+Ak_3y^2\beta\lambda^3-k_2p_fy\beta\gamma\lambda^3+k_3p_fy^2\beta\gamma\lambda^3+c_{Bio}k_2y\beta^2\lambda^4\\-c_2k_3y^2\beta^2\lambda^4-c_{Bio}k_3y^2\beta^2\lambda^4+c_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right)\left(2k_2^2-4k_2k_3+k_2y\beta\lambda^2-2k_3y^2\beta\lambda^2\right)\\+2c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right)\left(2k_2^2+k_3\left(1-2y\right)y\beta\lambda^2+k_2\left(-k_3+y\beta\lambda^2\right)\right)\end{matrix}}{\left(1+k_1s_a\right)\left(4k_2^2+y^2\beta\lambda^2\left(2k_3+\beta\lambda^2\right)+4k_2\left(k_3+y\beta\lambda^2\right)\right)} \quad \text{(الف-۲۱)}$$

**پیوست-ب**

در حالت همکاری نیز روند به‌دست‌آوردن متغیرهای تصمیم و ترتیب محاسبات همانند حالت عدم همکاری می‌باشد. در ابتدا لازم است قبل از ارائه توضیحات، به شکل (ب-۱) که روند حل در حالت همکاری را نشان می‌دهد توجه شود.




شکل ب-۱؛ روند حل مسئله در حالت همکاری

ابتدا لازم است متغیرهای تصمیم $w_a$ ، $w_b$ و $p_2$ به‌دست آیند. بدین منظور شرط تقعر توابع سود کشاورزان (الف)،(ب) و پالایشگاه را محاسبه می‌کنیم:

$$\frac{\partial^2 \pi_{F_a}^C}{\partial w_a^{\,2}} = -2k_3 < 0 \qquad \text{(ب-۱)}$$

$$\frac{\partial^2 \pi_{F_b}^C}{\partial w_b^{\,2}} = -2k_2 < 0 \qquad \text{(ب-۲)}$$

$$\frac{\partial^2 \pi_B^C}{\partial p_2^{\,2}} = -2\beta\left(1-\alpha_3\right) < 0 \qquad \text{(ب-۳)}$$

پس از آن مشتق اول این توابع را مساوی صفر قرار می‌دهیم:

$$\frac{\partial \pi_{F_a}^C}{\partial w_a} = Q_0 + k_1 Q_0 s_a + k_2 w_b + k_3\left(c_{01} - 2w_a - c_{01} s_a \delta_1\right) = 0 \qquad \text{(ب-۴)}$$

$$\frac{\partial \pi_{F_b}^C}{\partial w_b} = -Q_0(1+k_1 s_a) + k_3 w_a + -2k_2 w_b + \left(A - p_2\beta + p_f\gamma\right)\lambda + c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right)\left(-1+\alpha_2\right) = 0 \qquad \text{(ب-۵)}$$

$$\frac{\partial \pi_B^C}{\partial p_2} = \left(A - 2p_2\beta + p_f\gamma\right)\left(1-\alpha_3\right) + \left(c_{Bio} + w_b y\right)\lambda\beta = 0 \qquad \text{(ب-۶)}$$

با حل سه معادله و سه مجهول فوق خواهیم داشت:

$$w_a^{*C} = \frac{\begin{array}{l} 2c_{01}k_3 + Q_0 + k_1 Q_0 s_a - 2c_{01}k_3 s_a \delta_1 + c_{02}k_2\left(1 - s_b\delta_2\right)\left(1-\alpha_2\right) \\ +\lambda\left(A + p_f\gamma - \left(\begin{array}{l} 3k_2\left(A+p_f\gamma\right) + \beta\left(3c_{Bio}k_2 - y\begin{pmatrix} Q_0 + k_1Q_0s_a + c_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right) \\ +2c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right)\end{pmatrix}\right)\lambda \\ +2y\beta\left(A+p_f\gamma\right)\lambda^2 - 3k_2\left(A+p_f\gamma\right)\alpha_3 + 2c_{02}k_2 y\beta\left(-1+s_b\delta_2\right)\lambda\alpha_2\end{array}\right)\right)\end{array}}{3k_3\,2\left(3k_2 + y\beta\lambda^2 - 3k_2\alpha_3\right)} \quad (ب-۷)$$

$$w_b^{*C} = \frac{\begin{array}{l} -c_{01}k_3 + Q_0 + k_1Q_0s_a + c_{01}k_3s_a\delta_1 + 2c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right) - \left(A+p_f\gamma\right)\lambda \\ +c_{Bio}\beta\lambda^2 + 2c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right)\alpha_2\left(-1+\alpha_3\right) + \alpha_3\begin{pmatrix} -Q_0\left(1+k_1s_a\right) \\ +c_{01}k_3\left(1-s_a\delta_1\right) - 2c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right) + \left(A+p_f\gamma\right)\lambda\end{pmatrix}\end{array}}{-3k_2 - y\beta\lambda^2 + 3k_2\alpha_3} \quad (ب-۸)$$

$$p_2^{*C} = \frac{\begin{array}{l}\beta\lambda\left(3c_{Bio}k_2 - y\left(Q_0 + k_1Q_0s_a + c_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right) + 2c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right)\right)\right)\lambda \\ +2y\beta\left(A+p_f\gamma\right)\lambda^2 + 2c_{02}k_2y\beta\left(-1+s_b\delta_2\right)\lambda\alpha_2 + 3k_2\left(A+p_f\gamma\right)\left(1-\alpha_3\right)\end{array}}{2\beta\left(3k_2 + y\beta\lambda^2 - 3k_2\alpha_3\right)} \quad (ب-۹)$$

در مرحله بعد، مقادیر بهینه $p_2^{*C}, w_b^{*C}, w_a^{*C}$ در توابع سود شرکت کشاورزی و کشاورزان جایگذاری می‌شوند:

$$\pi_{F_a}^{C}(s_a) = \frac{1}{4}\left(\begin{array}{l} -2s_a^{\,2}\tau_a\alpha_1 + \\ \dfrac{\left(\begin{array}{l} -2k_2\left(Q_0 + k_1Q_0s_a + c_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right) + c_{02}k_2\left(1-s_b\delta_2\right)\right) \\ -k_2\left(A+p_f\gamma\right)\lambda + \beta\lambda^2\left(c_{Bio}k_2 - y\left(Q_0 + k_1Q_0s_a + c_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right)\right)\right) \\ +2c_{02}k_2^2\left(-1+s_b\delta_2\right)\alpha_2\left(-1+\alpha_3\right) + k_2\begin{pmatrix} 2\left(Q_0 + k_1Q_0s_a + C_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right)\right) \\ -2C_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right) + \left(A+p_f\gamma\right)\lambda\end{pmatrix}\alpha_3\end{array}\right)^2}{k_3\left(3k_2 + y\beta\lambda^2 - 3k_2\alpha_3\right)^2}\end{array}\right) \quad (ب-۱۰)$$

$$\pi_{F_b}^{C}(s_b) = \frac{\begin{array}{l} -\frac{1}{2}s_b^{\,2}\tau_b + k_2\begin{pmatrix} -Q_0\left(1+k_1s_a\right) + c_{01}k_3\left(1-s_a\delta_1\right) + \lambda\left(A + p_f\gamma - c_{Bio}\beta\lambda\right) + \\ C_{02}\left(-1+s_b\delta_2\right)\alpha_2\left(-k_2 - y\beta\lambda^2 + k_2\alpha_3\right) + c_{02}\left(-1+s_b\delta_2\right)\left(k_2 + y\beta\lambda^2\right) + \\ \left(Q_0 + k_1Q_0s_a + c_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right) + C_{02}k_2\left(1-s_b\delta_2\right) - \left(A+p_f\gamma\right)\lambda\right)\alpha_3\end{pmatrix}^2\end{array}}{\left(3k_2 + y\beta\lambda^2 - 3k_2\alpha_3\right)^2} \quad (ب-۱۱)$$

$$
\pi^{NC}_{ASSC}(Q_0) = \frac{
\begin{pmatrix}
2k_3 s_a^2 \beta \tau_a (-1+\alpha_1)\left(3k_2 + y\beta\lambda^2 - 3k_2\alpha_3\right)^2 + 2k_3\alpha_3\left(3k_2 + y\beta\lambda^2 - 3k_2\alpha_3\right) \\
\left(\begin{matrix} 3k_2(A+p_f\gamma) + \beta\left(3c_{Bio}k_2 - y\left(\begin{matrix} Q_0 + k_1 Q_0 s_a + c_{01}k_3(-1+s_a\delta_1) \\ +2c_{02}k_2(-1+s_b\delta_2)\end{matrix}\right)\right)\end{matrix}\right)\lambda + \\
2y\beta(A+p_f\gamma)\lambda^2 + 2c_{02}k_2 y\beta(-1+s_b\delta_2)\lambda\alpha_2 - 3k_2(A+p_f\gamma)\alpha_3
\end{pmatrix}
}{4K_3\beta\left(3k_2 + y\beta\lambda^2 - 3k_2\alpha_3\right)^2}
$$

$$
+2k_3 y\beta\lambda\begin{pmatrix} 3Ak_2 + 3k_2 p_f\gamma - 3c_{Bio}k_2\beta\lambda - 2c_{02}k_2 y\beta\lambda - c_{01}k_3 y\beta\lambda \\ +Q_0 y\beta\lambda + k_1 Q_0 s_a y\beta\lambda + c_{01}k_3 s_a y\beta\lambda \\ +2c_{02}k_2 s_b y\beta\delta_1\lambda - 2c_{02}k_2 y\beta(-1+s_b\delta_2)\lambda\alpha_2 - 3k_2(A+p_f\gamma)\alpha_3\end{pmatrix}
$$

$$
\begin{pmatrix} 2c_{02}k_2 + c_{01}k_3 - Q_0(1-k_1 s_a) - c_{01}k_3 s_a\delta_1 - 2c_{02}k_2 s_b\delta_2 + \lambda(A+p_f\gamma) - c_{Bio}\beta\lambda^2 \\ -2c_{02}k_2(-1+s_b\delta_2)\alpha_2(-1+\alpha_3) + Q_0(1+k_1 s_a) + c_{01}k_3(-1+s_a\delta_1) \\ +2c_{02}k_2(-1+s_b\delta_2) - \lambda(A+p_f\gamma)\alpha_3\end{pmatrix} -
$$

$$
\beta\begin{pmatrix}
2c_{02}k_2^2 + 4c_{01}k_2k_3 + 6c_2k_2k_3 + 2k_2Q_0 + 2k_1k_2Q_0s_a - 4c_{01}k_2k_3s_a\delta_1 - 2c_{02}k_2^2 s_b\delta_2 \\
+\lambda k_2(A+p_f\gamma) - c_{Bio}k_2\beta\lambda^2 + y\beta\lambda^2(2c_2k_3 + Q_0 + k_1Q_0s_a - c_{01}k_3s_a\delta_1) \\
-2c_{02}k_2^2(-1+s_b\delta_2)\alpha_2(-1+\alpha_3) + k_2\begin{pmatrix} -6C_2k_3 - 2Q_0(1-k_1s_a) \\ +4c_{01}k_3(-1+s_a\delta_1) + 2c_{02}k_2 \\ (-1+s_b\delta_2) - \lambda(A+p_f\gamma)\end{pmatrix}\alpha_3
\end{pmatrix} *
$$

$$
\begin{pmatrix}
2c_{02}k_2^2 - 2c_{01}k_2k_3 + 2k_2Q_0 + 2k_1k_2Q_0s_a + 2c_{01}k_2k_3s_a\delta_1 - 2C_{02}k_2^2 s_b\delta_2 + \lambda k_2(A+p_f\gamma) - c_{Bio}k_2\beta\lambda^2 \\
+y\beta\lambda^2(-C_{01}k_3 + Q_0 + k_1Q_0s_a + C_{01}k_3s_a\delta_1) - 2c_{02}k_2^2(-1+s_b\delta_2)\alpha_2(-1+\alpha_3) \\
-k_2\begin{pmatrix} 2Q_0 + 2k_1Q_0s_a + 2c_{01}k_3(-1+s_a\delta_1) \\ -2c_{02}k_2(-1+s_b\delta_2) + \lambda(A+p_f\gamma)\end{pmatrix}\alpha_3
\end{pmatrix}
$$

$$
+4c_{02}k_2k_3\beta(1-s_b\delta_2)\alpha_2\left(3k_2 + y\beta\lambda^2 - 3k_2\alpha_3\right)
$$

$$
\begin{pmatrix} c_{02}k_2 - c_{01}k_3 + Q_0(1+k_1s_a) + c_{01}k_3s_a\delta_1 - C_{02}k_2s_b\delta_2 - \lambda(A+p_f\gamma) + \\ \beta\lambda^2(c_{Bio} + c_{02}y - c_{02}s_b y\delta_2) + \begin{pmatrix} c_{01}k_3 - Q_0 - k_1Q_0s_a - c_{01}k_3s_a\delta_1 + \\ c_{02}k_2(-1+s_b\delta_2) + \lambda(A+p_f\gamma)\end{pmatrix}\alpha_3 \\ -c_{02}(-1+s_b\delta_2)\alpha_2(-k_2 - y\beta\lambda^2 + k_2\alpha_3)\end{pmatrix} + 4k_2k_3\beta
$$

$$
\begin{pmatrix}
2c_{02}k_2 + 3C_1k_2 + C_{01}k_3 - Q_0 - k_1Q_0s_a - C_{01}k_3s_a\delta_1 - 2c_{02}k_2s_b\delta_2 \\
+\lambda(A+p_f\gamma) + \beta\lambda^2(-c_{Bio} + c_1y) - 2c_{02}k_2(-1+s_b\delta_2)\alpha_2(-1+\alpha_3) \\
+\left(-3c_1k_2 - C_{01}k_3 + Q_0 + k_1Q_0s_a + C_{01}k_3s_a\delta_1 + 2c_{02}k_2(-1+s_b\delta_2) - \lambda(A+p_f\gamma)\right)\alpha_3
\end{pmatrix}
$$

$$
\begin{pmatrix} c_{02}k_2 - C_{01}k_3 + Q_0 + k_1Q_0s_a + C_{01}k_3s_a\delta_1 - c_{02}k_2s_b\delta_2 - \lambda(A+p_f\gamma) \\ +\beta\lambda^2(c_{Bio} + c_{02}y - c_{02}s_b y\delta_2) + \begin{pmatrix} c_{01}k_3 - Q_0 - k_1Q_0s_a - c_{01}k_3s_a\delta_1 + \\ c_{02}k_2(-1+s_b\delta_2) + \lambda(A+p_f\gamma)\end{pmatrix}\alpha_3 \\ -c_{02}(-1+s_b\delta_2)\alpha_2(-k_2 - y\beta\lambda^2 + k_2\alpha_3)\end{pmatrix}
$$

(ب-۱۲)

جهت بررسی شرط تقعر روابط بدست آمده، از توابع فوق به ترتیب نسبت به متغیرهای $Q_0, s_b, s_a$ مشتق دوم گرفته می‌شود:

$$\frac{\partial^2 \pi^C_{F_a}}{\partial {s_a}^2} = \frac{1}{4}\left( -4\tau_a \alpha_1 + \frac{2\left(k_1 Q_0 + c_{01}k_3\delta_1\right)^2 \left(2k_2 + y\beta\lambda^2 - 2k_2\alpha_3\right)^2}{k_3\left(3k_2 + y\beta\lambda^2 - 3k_2\alpha_3\right)^2} \right) < 0$$

(ب-۱۳)

اگر $\frac{2\left(k_1 Q_0 + c_{01}k_3\delta_1\right)^2 \left(2k_2 + y\beta\lambda^2 - 2k_2\alpha_3\right)^2}{k_3\left(3k_2 + y\beta\lambda^2 - 3k_2\alpha_3\right)^2} < 4\tau_a\alpha_1$

$$\frac{\partial^2 \pi^C_{F_b}}{\partial {s_b}^2} = -\tau_b + \frac{2c_{02}^2 k_2 \delta_2^2 \left(-1+\alpha_2\right)^2 \left(k_2 + y\beta\lambda^2 - k_2\alpha_3\right)^2}{\left(3k_2 + y\beta\lambda^2 - 3k_2\alpha_3\right)^2} < 0$$

(ب-۱۴)

اگر $\frac{2c_{02}^2 k_2 \delta_2^2 \left(-1+\alpha_2\right)^2 \left(k_2 + y\beta\lambda^2 - k_2\alpha_3\right)^2}{\left(3k_2 + y\beta\lambda^2 - 3k_2\alpha_3\right)^2} < \tau_b$

$$\frac{\partial^2 \pi^C_{F_a}}{\partial {s_a}^2} = \frac{1}{4}\left( -4\tau_a \alpha_1 + \frac{2\left(k_1 Q_0 + c_{01}k_3\delta_1\right)^2 \left(2k_2 + y\beta\lambda^2 - 2k_2\alpha_3\right)^2}{k_3\left(3k_2 + y\beta\lambda^2 - 3k_2\alpha_3\right)^2} \right) < 0$$

(ب-۱۵)

اگر $\frac{2\left(k_1 Q_0 + c_{01}k_3\delta_1\right)^2 \left(2k_2 + y\beta\lambda^2 - 2k_2\alpha_3\right)^2}{k_3\left(3k_2 + y\beta\lambda^2 - 3k_2\alpha_3\right)^2} < 4\tau_a\alpha_1$

باتوجه‌به برقرار بودن شرط تقعر، مشتق اول توابع سود مذکور نسبت به متغیرهای $Q_0, s_b, s_a$ محاسبه می‌گردد:

$$\frac{\partial \pi^C_{F_a}}{\partial s_a} = -s_a\tau_a\alpha_1 + \frac{\left( \begin{array}{l} \left(k_1 Q_0 + c_{01}k_3\delta_1\right)\left(-2k_2 - y\beta\lambda^2 + 2k_3\alpha_3\right) \\ \left( \begin{array}{l} -2k_2\left(Q_0 + k_1 Q_0 s_a + C_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right) + C_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right)\right) - \\ k_2\left(A + p_f\gamma\right)\lambda + \beta\left(c_{Bio}k_2 - y\left(Q_0 + k_1 Q_0 s_a + c_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right)\right)\right)\lambda^2 \\ +2c_{02}k_2^2\left(-1+s_b\delta_2\right)\alpha_2\left(-1+\alpha_3\right) + k_2\left( \begin{array}{l} 2\left(Q_0 + k_1 Q_0 s_a + C_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right)\right) \\ -2C_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right) + \left(A + p_f\gamma\right)\lambda \end{array} \right)\alpha_3 \end{array} \right) \end{array} \right)^2}{2k_3\left(3k_2 + y\beta\lambda^2 - 3k_2\alpha_3\right)^2}$$

(ب-۱۶)

$$\frac{\partial \pi^C_{F_b}}{\partial s_b} = -s_b\tau_b + \frac{2c_{02}k_2\delta_2\left(-1+\alpha_2\right)\left(-k_2 - y\beta\lambda^2 + k_2\alpha_3\right)}{\left(3k_2 + y\beta\lambda^2 - 3k_2\alpha_3\right)^2} \left( \begin{array}{l} -Q_0\left(1+k_1 s_a\right) + c_{01}k_3\left(1-s_a\delta_1\right) + \lambda\left(A + p_f\gamma - c_{Bio}\beta\lambda\right) \\ +C_{02}\left(-1+s_b\delta_2\right)\left(k_2 + y\beta\lambda^2\right) \\ +\left(Q_0 + k_1 Q_0 s_a + c_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right) + C_{02}k_2\left(1-s_b\delta_2\right) - \left(A + p_f\gamma\right)\lambda\right)\alpha_3 \\ +c_{02}\left(-1+s_b\delta_2\right)\alpha_2\left(-k_2 + y\beta\lambda^2 + k_2\alpha_3\right) \end{array} \right)$$

(ب-۱۷)

$$\frac{\partial \pi_{ASSC}^{NC}}{\partial Q_0} = \frac{\left(1+k_1 s_a\right)\left(\begin{array}{l} 2k_2\left(\begin{array}{l} -3c_1k_2k_3+3c_2k_2k_3+2\left(k_2+k_3\right)Q_0+2k_1\left(k_2+k_3\right)Q_0s_a \\ -c_{01}\left(k_2-2k_3\right)k_3\left(-1+s_a\delta_1\right)-c_{02}k_2\left(2k_2-k_3\right)\left(-1+s_b\delta_2\right) \end{array}\right)+k_2\left(2k_2+k_3\left(-4+3y\right)\right) \\ \left(A+p_f\gamma\right)\lambda+\beta\lambda^2\left(\begin{array}{l} c_{Bio}k_2\left(-2k_2+k_3\left(4-3y\right)\right)+ \\ y\left(\begin{array}{l} -2c_1k_2k_3+5c_2k_2k_3+4k_2Q_0+4k_1k_2Q_0s_a \\ +2k_3Q_0y+c_{01}k_3\left(-k_2+2k_3y\right)\left(-1+s_a\delta_1\right) \\ -2c_{02}k_2\left(k_2+k_3-2k_3y\right)\left(-1+s_b\delta_2\right) \end{array}\right) \end{array}\right)+ \\ +2c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right)\alpha_2\left(-1+\alpha_3\right)\left(\begin{array}{l} -2k_2\left(k_2+k_3\right)-\left(k_2-2k_3\left(-1+y\right)\right)y\beta\lambda^2 \\ +2k_2\left(k_2+k_3\right)\alpha_3 \end{array}\right) \\ +\alpha_3\left(\begin{array}{l} 4k_2\left(3c_1k_2k_3-3c_2k_2k_3-2\left(k_2+k_3\right)Q_0\left(1+k_1s_a\right)\right) \\ +k_2\left(\begin{array}{l} 3k_3y+A\left(-4k_2+8k_3-6k_3y\right) \\ -2p_f\left(2k_2+k_3\left(-4+3y\right)\right)\gamma \end{array}\right)\lambda+ \\ \left(\begin{array}{l} 2c_{Bio}k_2\left(k_2-2k_3\right)+k_2\left(\begin{array}{l} 2c_1k_3-5c_2k_3+3c_{Bio}k_3 \\ -4Q_0\left(1+k_1s_a\right) \end{array}\right)y \\ -2k_3Q_0\left(1+k_1s_a\right)y^2 \end{array}\right)\beta \\ +c_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right)\left(4k_2\left(k_2-2k_3\right)+y\left(k_2-2k_3y\right)\beta\lambda^2\right) \\ +2c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right)\left(2k_2\left(2k_2-k_3\right)+y\left(k_2+k_3-2k_3y\right)\beta\lambda^2\right) \\ +k_2\left(\begin{array}{l} -6c_1k_2k_3+6c_2k_2k_3+4k_2Q_0+4k_3Q_0+4k_1k_2Q_0s_a \\ +4k_1k_3Q_0s_a-2c_{01}\left(k_2-2k_3\right)k_3\left(-1+s_a\delta_1\right) \\ -2c_{02}k_2\left(2k_2-k_3\right)\left(-1+s_b\delta_2\right)+2Ak_2\lambda-4Ak_3\lambda \\ \lambda\left(-3k_3y+3Ak_3y+p_f\gamma\left(2k_2-4k_3+3k_3y\right)\right) \end{array}\right)\alpha_3 \end{array}\right) \end{array}\right)}{2K_3\left(3k_2+y\beta\lambda^2-3k_2\alpha_3\right)^2} \qquad \text{(ب-۱۸)}$$

روابط بدست آمده فوق را مساوی صفر قرار داده و با این کار خواهیم داشت:

$$s_a^{*C} = \frac{\left(k_1Q_0+c_{01}k_3\delta_1\right)\left(-2k_2-y\beta\lambda^2+2k_2\alpha_3\right)\left(\begin{array}{l} 2k_2\left(c_{01}k_3-Q_0+c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right)\right)-k_2\left(A+p_f\gamma\right)\lambda \\ +\left(c_{Bio}k_2+c_{01}k_3y-Q_0y\right)\beta\lambda^2+2c_{02}k_2^2\left(-1+s_b\delta_2\right)\alpha_2\left(-1+\alpha_3\right) \\ +k_2\left(2c_{02}k_2-2c_{01}k_3+2Q_0-2c_{02}k_2s_b\delta_2+A\lambda+p_f\gamma\lambda\right)\alpha_3 \end{array}\right)}{2k_3\tau_a\alpha_1\left(3k_2+y\beta\lambda^2-3k_2\alpha_3\right)^2-\left(k_1Q_0+c_{01}k_3\delta_1\right)^2\left(2k_2+y\beta\lambda^2-2k_2\alpha_3\right)^2} \qquad \text{(ب-۱۹)}$$

$$s_b^{*C} = \frac{2c_{02}k_2\delta_2\left(-1+\alpha_2\right)\left(-k_2-y\beta\lambda^2+k_2\alpha_3\right)\left(\begin{array}{l} c_{02}k_2-c_{01}k_3+Q_0+k_1Q_0s_a+c_{01}k_3s_a\delta_1-\left(A+p_f\gamma\right)\lambda \\ +\left(c_{Bio}+c_{02}y\right)\beta\lambda^2-\left(\begin{array}{l} c_{02}k_2+Q_0+k_1Q_0s_a \\ +c_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right)-\left(A+p_f\gamma\right)\lambda \end{array}\right)\alpha_3 \\ +c_{02}\alpha_2\left(-k_2-y\beta\lambda^2+k_2\alpha_3\right) \end{array}\right)}{\begin{array}{l} 2c_{02}^2k_2\delta_2^2\left(k_2+y\beta\lambda^2\right)^2-\left(3k_2-y\beta\lambda^2\right)^2\tau_b-4c_{02}^2k_2\delta_2^2\alpha_2\left(k_2+y\beta\lambda^2-k_2\alpha_3\right)^2 \\ +2c_{02}^2k_2\delta_2^2\alpha_2^2\left(k_2+y\beta\lambda^2-k_2\alpha_3\right)^2+k_2\alpha_3\left(\begin{array}{l} -4c_{02}^2k_2\delta_2^2\left(k_2+y\beta\lambda^2\right) \\ +6\left(3k_2+y\beta\lambda^2\right)\tau_b+k_2\left(2c_{02}^2k_2\delta_2^2-9\tau_b\right)\alpha_3 \end{array}\right) \end{array}} \qquad \text{(ب-۲۰)}$$

$$
\begin{aligned}
&6\left(c_1-c_2\right)k_2^2k_3-k_2\left(2k_2+k_3\left(-4+3y\right)\right)\left(A+p_f\gamma\right)\lambda+k_2\begin{pmatrix}2c_{Bio}\left(k_2-2k_3\right)\\+\left(2c_1-5c_2+3c_{Bio}\right)k_3y\end{pmatrix}\beta\lambda^2\\
&+y\left(-k_2+k_3y\right)\beta\left(A+p_f\gamma\right)\lambda^3-y\left(-c_{Bio}k_2+\left(c_2+c_{Bio}\right)k_3y\right)\beta^2\lambda^4\\
&+c_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right)\left(2k_2\left(k_2-2k_3\right)+y\left(k_2-2k_3y\right)\beta\lambda^2\right)\\
&+2c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right)\left(k_2\left(2k_2-k_3\right)+y\left(k_2+k_3-2k_3y\right)\beta\lambda^2\right)\\
&-2c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right)\alpha_2\left(-1+\alpha_3\right)\left(-2k_2\left(k_2+k_3\right)-\left(k_2-2k_3\left(-1+y\right)\right)y\beta\lambda^2+2k_2\left(k_2+k_3\right)\alpha_3\right)\\
&+\alpha_3\begin{pmatrix}12\left(-c_1+c_2\right)k_2^2k_3+k_2\left(-3k_3y+A\left(4k_2-8k_3+6k_3y\right)+2p_f\left(2k_2+k_3\left(-4+3y\right)\right)\gamma\right)\lambda\\+k_2\left(-2c_{Bio}k_2+c_{Bio}k_3\left(4-3y\right)+\left(-2c_1+5c_2\right)k_3y\right)\beta\lambda^2-y\beta\left(k_3y-\left(k_2-k_3y\right)\left(A+p_f\gamma\right)\right)\lambda^3\\+2c_{02}k_2\left(-1+s_b\delta_2\right)\left(2k_2\left(-2k_2+k_3\right)-y\left(k_2+k_3-2yk_3\right)\beta\lambda^2\right)+c_{01}k_3\left(-1+s_a\delta_1\right)\\\left(-4k_2\left(k_2-2k_3\right)+y\left(-k_2+2k_3y\right)\beta\lambda^2\right)+k_2\begin{pmatrix}6\left(c_1-c_2\right)k_2k_3+2c_{01}\left(k_2-2k_3\right)k_3\left(-1+s_a\delta_1\right)\\+2c_{02}k_2\left(2k_2-k_3\right)\left(-1+s_b\delta_2\right)+\begin{pmatrix}-2Ak_2+Ak_3\left(4-3y\right)+3k_3y\\-2k_2p_f\gamma+k_3p_f\left(4-3y\right)\gamma\end{pmatrix}\lambda\end{pmatrix}\alpha_3\end{pmatrix}\\
Q_0^{sc}=&\frac{}{\left(1+k_1s_a\right)\begin{pmatrix}4k_2\left(k_2+k_3\right)+2y\left(2k_2+k_3y\right)\beta\lambda^2+y^2\beta^2\lambda^4+4k_2\left(k_2+k_3\right)\alpha_3^2-\\2\left(4k_2\left(k_2+k_3\right)+y\left(2k_2+k_3y\right)\beta\lambda^2\right)\alpha_3\end{pmatrix}}
\end{aligned}
$$

(ب-۲۱)