

کالج پروژه

www.collegeprozheh.ir



دانلود پروژه های دانشگاهی

بانک موضوعات پایان نامه

دانلود مقالات انگلیسی با ترجمه فارسی

آموزش نگارش پایان نامه ، مقاله ، پروپوزال

ادغام تصمیمات برداشت در طراحی زنجیره های تامین آگروفود

چکیده

ناکارآمدی های مشاهده شده در زنجیره های آگروفود و روندهای اخیر در صنعت آگروفود نظیر تثبیت، نیاز به مطالعات بیشتر روی مدیریت زنجیره تامین در این حیطه را بیشتر کرده است. در حین در نظر داشتن مشخصه های خاص زنجیره های تامین آگروفود مدل هایی برای کار پیچیده تعیین نمایه زنجیره تامین بهینه برای بهبود عملکرد اقتصادی و محیطی شان لازمند. این مقاله شرحی کلی از مسأله طراحی زنجیره تامین در زنجیره های صنعتی آگروفود با در نظر گرفتن نقض تصمیمات فصلی و برداشت، نابود شدن و فراوری ارائه می کند. فرمول مدل کلی ارائه شده که همساز با این مشخصه ها و جریان های پیشین و پسین در زنجیره است. مدل کلی در مطالعه موردی زنجیره فراوری چغندر قند در هلند به کار رفته است. مرز راندمان پارتو بین بیشینه سازی حاشیه سود کلی و کمینه سازی پتانسیل گرم شدن جهانی در معادله CO_2 کاوش شده است. ابهامات موجود در تقاضا و حاصل برداشت با استفاده از نسخه تصادفی مدل در نظر گرفته شده اند. نتایج نشان می دهند که مدل طراحی زنجیره تامین باعث ارائه مشخصه های خاصی از زنجیره تامین آگروفود شده و ابهامات آن منجر به شناسایی انجام بهتر پیکربندی های زنجیره تامین می شوند. در مطالعه موردی، نمایه های زنجیره تأمینی می توان یافت که در آن ها عملکرد از نظر اقتصادی و از نظر محیطی بهتر از عملکرد فعلی مدلسازی شده است. به علاوه، مشاهده می شود که پیکربندی های زنجیره تامین با پردازش نامتمرکز یا پیش پردازش عنوان جالبی برای تحقیق آینده در زمینه صنعت آگروفود هستند.

واژگان کلیدی: OR در کشاورزی، صنعت آگروفود، بهینه سازی زنجیره تامین، زنجیره تامین غذا

1- مقدمه

زمینه حاضر زنجیره های تامین غذایی (FSCها) دلیل مهم ناکارآمدی های موجود در تولید غذاست. این ناکارآمدی ها باید کاهش یابند تا امنیت غذایی برای جمعیت روزافزون دنیا تضمین شود و تولید مسئولانه آینده و مصرف

محصولات غذایی بهبود یابد. طراحی مجدد استراتژیک FSC ها می تواند یکی از عوامل پشت سر گذاشتن این چالش ها باشد.

ناکارآمدی های موجود در تولید غذا باعث ایجاد هدررفت در زنجیره های تأمین غذایی، و افت منابع مرتبط، سرمایه پولی و نیروی کار سرمایه گذاری شده می شود. در اروپا، صنعت غذا نماینده تقریباً 13٪ از کل حجم معاملات صنعت تولیدی را تشکیل می دهد و FSC های مرتبط با آن 31٪ از کل پتانسیل گرم کردن زمین را تشکیل می دهند در حالی که 31٪ از غذای تولید شده هدر می رود. برطرف کردن این مسائل باعث بهبود توانایی FSC ها در برطرف کردن نیازهای مردم به شیوه ای مقرون به صرفه در حین کاهش اثر محیطی آن ها می شود که هم از نقطه نظر اقتصادی مهم است و هم از نقطه نظر محیطی.

عملکرد اقتصادی و محیطی FSC ها ارتباط موثری برای پیکربندی زنجیره تأمین آن ها دارد، یعنی تعداد، نوع و محل تسهیلات و جریان های ارتباط درونی آن ها. از اینرو ارزیابی مجدد پیکربندی FSC ها می تواند باعث بهبود عملکرد آن ها و جبران ناکارآمدی ها در این زنجیره برای بهبود پایداری آن شود.

اما تعیین پیکربندی SC بهینه برای FSC ها به دلیل مشخصه های خاص محصولات و فرایندهای غذایی مسأله پیچیده ای است. فصلی بودن تولید و تقاضا، فاسدشوندگی محصولات، و الزامات خاص محصول برای انتقال و نگهداری تنها چند نمونه از مواردی هستند که مدیریت FSC ها را از دیگر SC ها متفاوت می کند. اما هر مشخصه ای برای FSC ها مرتبط نیست. نابودشوندگی و فصلی بودن در تولید به عنوان نمونه در FSC مرتبط با میوه های تازه اهمیت زیادی دارند، اما برای FSC های که در آن ها محصولات به آن سرعت فاسد نمی شوند آنقدرها هم مهم نیست، همانند آن چه برای بسیاری از حبوبات مشاهده می شود. حبوبات معمولاً خشک می شوند تا از فساد آن ها جلوگیری شود، هر چند شرایط آب و هوایی پس از برداشت می تواند منجر به افت های پس از برداشت برای این محصولات و دیگر دانه ها شود.

در عوض فراوری نقش مهمی در SC های لبنیاتی بازی می کند، اما در SC های میوه های تازه و سبزیجات نظیر کاهو اینگونه نیست. به دلیل تنوع گسترده میان FSC ها، چندین زیرنوع در مقالات شناسایی و مورد بررسی قرار گرفته اند.

غالباً FSC ها بر مبنای تفاوت در طول عمر در قفسه برای فروش، اصل، فراوری یا صنعت طبقه بندی می شوند. هر یک از ای زیرنوع ها مجموعه مشخصه های FSC خاصی دارد.

در این مقاله مدلسازی پشتیبان تصمیم برای طراحی استراتژیک مجدد نمایه های SC برای صنعت آگرو فود بررسی می شود که در آن نگرانی اصلی صنعت تبدیل مواد زراعی به محصولات نیمه آماده و آماده می باشد. روندهای اخیر در این صنعت، نظیر تثبیت، نیاز به کاربرد مدل ها و ابزارها را افزایش داده اند. به دلیل وابستگی به مواد کشاورزی، تولید فصلی، برداشت و فراوری مشخصه های مهمی از این SC های آگرو فود هستند. به علاوه، مواد کشاورزی و محصولات مشتق شده از آن ها غالباً فاسدشدنی هستند و فراوری می تواند هم تأثیر مثبت بر فساد آنها داشته باشد و هم تأثیر منفی. علاوه بر این تغییر طبیعی مواد کشاورزی و شرایط آب و هوایی منجر به ابهاماتی در محصول برداشت، کیفیت، تقاضا و قیمت محصولات می شود. به دلیل وجود این مشخصه های خاص و تأثیر آن ها روی مدیریت SC ها، برای شمول این مشخصات مدل های SC استاندارد ی باید در نظر گرفته شوند.

این مشخصه های خاص AFSC ها مستلزم در نظر گرفتن تصمیمات برداشت می باشند. دسترسی فصلی به دامنه ها همراه با مواد کشاورزی برداشت شده فاسدشونده محدودیت هایی روی فراوری اعمال می کند و بنابراین روی پیکربندی SC بهینه تأثیر می گذارد. هرچند نیاز به حمایت یکپارچه از طراحی و برنامه ریزی AFSC ها مشخص شده است، در بررسی مقالات اخیر Kusumastuti و همکارانش (2016) مشاهده کردند که کار کمی روی توسعه و بکار بستن مدلی انجام شده که برداشت و فراوری را در این زمینه ادغام می کند.

این مقاله در پیشینه پژوهش با ارائه مدل برنامه ریزی خطی صحیح ترکیبی (MILP) مشارکت می یابد که در آن تصمیمات تاکتیکی در مرحله برداشت با تصمیمات استراتژیک طراحی AFSC ها ادغام شده اند. این مقاله مروری کلی از مشخصه های معمول AFSC ها ارائه می کند و رویکرد یکپارچه را برای مطالعه موردی به کار می برد، در حالی که تأثیرات گرم کردن زمین و وجود ابهاماتی در محصول برداشت و تقاضا را نیز در نظر می گیرد.

در بخش 2 مروری کلی از مشخصه ای خاص AFSC ها ارائه می شود. به علاوه مقالات مرتبط در مورد طراحی استراتژیک و تاکتیکی AFSC ها ارائه شده است. در بخش 3، مسأله تصمیم گیری به تفصیل مورد بحث قرار گرفته

و شرحی کلی از الزامات مدل و فرمول مدل توسعه یافته است. این رویکرد کلی در مطالعه موردی به کار برده شده و بر مبنای کار Kolschoten و همکارانش (2014) و Jonkman و همکارانش (2017) روی فرآوری چغندر قند در هلند بنا نهاده شده، درست همان طور که در بخش 4 توضیح داده شده است. نتایج مطالعه موردی ارائه شده اند و در بخش 5 در مورد آن ها صحبت شده است. نتیجه گیری های بعد در بخش 6 ارائه شده اند.

2- بررسی پیشینه پژوهش

مدیریت FSC ها مسأله ای است که هر روز در صنعت و آموزش توجه بیشتری به آن می شود. در این بخش مشخصه های مرتبط برای طراحی زنجیره تأمین زنجیره تأمین صنعتی آگرو فود ارائه شده و مروری کلی از مقالات مرتبط در رابطه با طراحی AFSC ها ارائه شده است.

2-1- مشخصه های AFSC

AFSC ها، FSC هایی هستند که در آن ها مواد زراعی به چندین محصول نیمه آماده و آماده تبدیل شده اند. هر چند مواد زراعی می توانند هم ریشه گیاهی داشته باشند و هم ریشه حیوانی، AFSC های مربوط به محصولات به دست آمده از دامنه این مقاله به علت تفاوت بین تولید حیوانات و محصولات کشاورزی، کاشت و برداشت و پردازش محصولات مشتق شده حذف می شوند.

حیوانات به دلیل وابستگی AFSC ها به مواد زراعی، تفاوت فصلی بودن و منطقه ای بودن نقش مهمی در زمان مدیریت چنین سیستم هایی بازی می کند. غلات تولید شده توسط زراعتگران تنها در منطقه معین و به مدت محدودی در دسترسند که در آن کشت و برداشت شده اند. محصول و کیفیت دانه برداشت شده وابسته به شرایط آب و هوایی و طبیعت متغیر خود دانه است. از اینرو، منبع در AFSC ها وابسته به زمان و منطقه است و ابهام در زمان، کمیت و کیفیت وجود دارد.

کیفیت مواد زراعی برداشت شده با گذشت زمان کم شده و عملیات منطقی نظیر انتقال، انبار کردن و فرآوری روی کیفیت تأثیر می گذارند. در نقاط متعدد در زنجیره تأمین، حداقل سطوح کیفیت لازمند. از اینرو زوال کیفیت مربوط

به پیکربندی زنجیره تأمین است و قابلیت فاسد شدن مسأله ای مهم است و باید در طراحی AFSC آن را در نظر گرفت.

به علاوه، فرآوری مواد زراعی منجر به تولید طیف وسیعی از محصولات می شود. محصول و کیفیت فرآوری این محصولات به دلیل تغییر طبیعی و احتمال فرآوری و ذخیره سازی محصولات بسته به نوع روش فرآوری برای تبدیل مواد زراعی به محصولات مبهم است. شبوه های فرآوری که زوال کیفیت را کاهش می دهند می توانند در نزدیکی منبع مواد زراعی برای به دست آوردن محصولات پایدار استفاده شوند. شبوه هایی که باعث افزایش زوال کیفیت می شوند بهتر است در نزدیکی مشتری های نهایی بوده و طبق تقاضا زمانبندی شوند تا از افت کیفیت غیرضروری جلوگیری شود. تعامل با مشخصه های فصلی، منطقه ای و فاسد شدنی بودن بنابراین فرآوری را به ویژگی مهمی در طراحی AFSC ها تبدیل می کند

2-2- طراحی AFSC استراتژیک

در طراحی و طراحی مجدد زنجیره های تأمین تعداد، ظرفیت و مکان تسهیلات فرآوری عملیاتی باید تعیین شود؛ این که منبع و تقاضا چگونه تخصیص یابند؛ و اینکه اگر مربوط باشند کدام روش فرآوری باید استفاده شود. هر چند این تصمیمات اهمیت زیادی دارند، تعداد مقالاتی که در رابطه با پیکربندی AFSC ها نوشته شده محدود است. مدل های پشتیبان تصمیم استفاده شده برای طراحی AFSC ها و دیگر FSC ها در بررسی های Lucas و Chhajer (2004)، Akkerman و همکاران (2010) و Soto-Silva و همکاران (2015) مورد بحث قرار گرفته که اشاره می کنند که کمبود مدل هایی که مشخصه های خاص FSC ها را در نظر گرفته باشد وجود دارد. به علاوه ما به بررسی های Ba و همکاران (2016) و De Meyer و همکاران (2014) در مورد روش های بهینه سازی طراحی های زنجیره تأمین بر پایه زیست اشاره کرده ایم، چون این زنجیره های تأمین در چندین مسخره با AFSC ها مشترکند و این به دلیل وابستگی آن ها به مواد خام گیاهی است. هر چند تصمیمات برداشت این چینی توجه زیادی در مقالات به خود جلب کرده اند، یکپارچگی با طراحی زنجیره تأمین یا تصمیمات در دیگر اشل های زنجیره تأمین اندک است.

به علاوه، فصلی بودن تأمین غالباً خارج از حیطه طراحی AFSC رها شده و دسترسی به مواد خام به موقع معمولاً به عنوان یک مورد تعیین شده در نظر گرفته شده است. مدل های بهینه سازی زنجیره تأمین با در نظر گرفتن فصلی بودن از چندین دوره زمانی مربوط به فصل ها استفاده می کنند تا امکان وجود تفاوت هایی میان این دوره ها را فراهم کنند، هر چند مقدار مواد خام موجود در این دوره ها معین در نظر گرفته شده است. دسترسی به مواد خام مربوط به تصمیمات برداشت غالباً در پیکربندی زنجیره تأمین ثابتی بررسی شده است که این تصمیمات را از تعیین مکان و ظرفیت تسیلات فرآوری مجزا می کند. اما طبیعت فاسد شدنی مواد زراعی برداشت شده در AFSC ها مستلزم یکپارچگی میان این تصمیمات است.

هر چند محصولات فاسدشدنی توجه زیادی در مقالات مرتبط با برنامه ریزی تولید و مدیریت سیاهه کالا به خود جلب کرده اند، مقالات اندکی وجود دارند که فاسدشدنی بودن را در مدل های طراحی زنجیره تأمین شامل کرده اند. در زمینه کنترل شبکه، فاسدشوندگی با استفاده از طول عمر در قفسه یا توابع فساد (زوال) مدلسازی شده است. مشارکت های جدید قابل توجهی توسط de Keizer و همکارانش (2015a) و de Keizer و همکارانش (2017) انجام شده اند که قابلیت فساد مواد را در مدل طراحی شبکه با استفاده از تابع زوال کیفیت در رویکرد بهینه سازی-شبیه سازی ترکیبی و مدل MLP شامل کرده اند، هر چند فصلی بودن و برداشت در نظر گرفته نشده اند.

در کل، مقالاتی که تصمیمات فرآوری را در نظر گرفته اند عمدتاً با انتخاب تکنولوژی ها یا شیوه های فرآوری سر و کاردارند که در زمینه طراحی زنجیره تأمین بر مبنای زیستی شایعند. اما نوع مشخصی از پیکربندی شبکه در نظر گرفته شده که در آن فرآوری در یک مرحله یا اشلی از زنجیره تأمین انجام می شود. در مورد AFSC ها، فرآوری چند مرحله ای می تواند باعث بهبود عملکرد AFSC به دلیل اثرات حمل و نقل و فرآوری روی کیفیت محصول و قابلیت فساد آن شود. بنابراین از پیش تعیین کردن نوع پیکربندی شبکه می تواند در راه حل های مدل طراحی محدود کننده باشد.

همان طور که قبلاً گفته شد، یکپارچگی اندکی میان تصمیمات برداشت و فرآوری وجود دارد و غالباً بهینه سازی ترتیبی از اولین برداشت در نظر گرفته شده و متعاقباً انتخاب تکنولوژی بهینه برای فرآوری، پیکربندی زنجیره تأمین و تخصیص جریان ها در زنجیره تأمین صورت گرفته است.

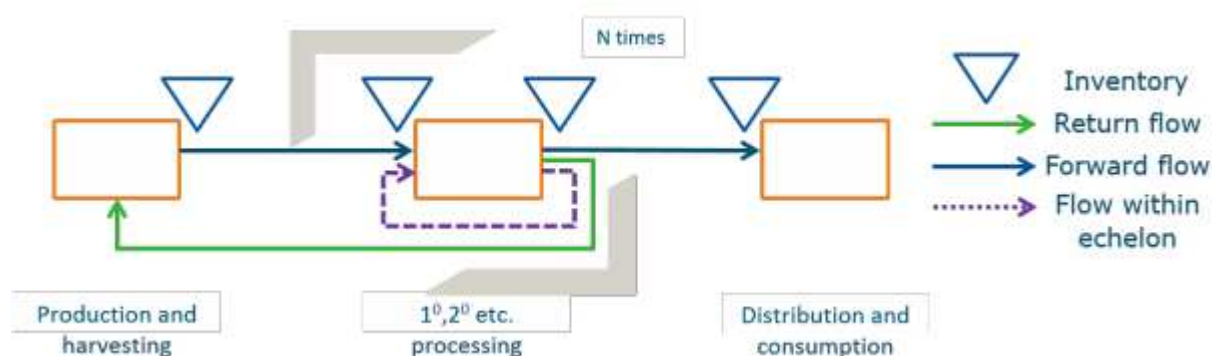
در بخش فوق شاهد فضایی خالی در یکپارچه سازی تصمیمات برداشت با طراحی AFSC ها در حین در نظر گرفتن مشخصه های خاص شناسایی شده AFSC ها بودیم. بستن این فضای خالی می تواند از شرکت های صنعتی آگرو فود با شناسایی پیکربندی های زنجیره تأمین رقابتی حمایت کند.

3- شرح مسأله و فرمولاسیون مدل

در این بخش ما در بستن فضای خالی مقالات با ارائه شرحی کلی از ساختار یک AFSC، توضیح درباره جزئیات مسأله طراحی و ارائه فرمولاسیون مدل کلی مشارکت می کنیم.

3-1- ساختار AFSC

در کل، AFSC یک زنجیره تأمین چند محصولی است که طیفی از زراعتگرانی که مواد زراعی تولید می کنند تا مشتریانی که محصولات فرآوری شده را خریداری می کنند را تشکیل می دهد. در مرحله تولید، دانه ها در مزارع رشد یافته اند و حاصل آن مواد زراعی است که برداشت می شوند. این مواد زراعی فرآوری شده و به محصولات نیمه آماده و آماده در مرحله فرآوری اولیه تبدیل می شوند. محصولات نیمه آماده را می توان در مراحل فرآوری بعدی بیشتر فرآوری کرد و تمام محصولات تولید شده به مشتریان در بازارهای مربوط در مراحل نهایی AFSC عرضه شده اند.



شکل 1- نمایش شماتیک زنجیره تأمین صنعتی آگرو فود عمومی

بنابراین جریان های اصلی کالا بین اشل های تولید، فرآوری، و توزیع و مصرف پایین دست هستند. هر چند در مقالات معمولاً فرض بر وجود زمینه متمرکزی در اشل فرآوری است، زمینه های جایگزین با جریان کالاهای بین مکان های مختلف در اشل فرآوری ممکنند. به علاوه، مطالعات اخیر احتمال جریان های معکوس در FSC ها را نشان داده اند که شامل AFSC ها می باشد.

در AFSC، زراعتگران و فرآوری کنندگان به هم وابسته اند و این باعث رشد یکپارچگی زنجیره تأمین می شود. از نظر سازمانی این مسأله به عنوان نمونه از طریق ساختارهای مشارکتی مختلفی رخ می دهد که در آن زراعتگران یکی می شوند تا به صورت اشتراکی برداشت خود را فرآوری کنند و فرآوری کنندگان مقیاس بزرگ از قرارداد زراعتی بهره می برند. این پلتفرمی برای تصمیم گیری زنجیره تأمین ارائه می کند و امکان استفاده از ابزارها و مدل های مرتبط را فراهم می کند.

3-2- شرح مدل طراحی AFSC

مدل طراحی AFSC یکپارچه باید از انتخاب پیکربندی زنجیره تأمین حمایت کند که باعث بهینه سازی برداشت و فرآوری مواد زراعی، نقل و انتقال و ذخیره سازی مواد خام، محصولات نیمه آماده و آماده، و جریان های معکوس شده با در نظر گرفتن مشخصه های خاصی از AFSC می شود. مسأله تصمیم را می توان به شرح زیر توضیح داد:

با توجه به:

مجموعه ای از محصولات، مواد زراعی، محصولات نیمه آماده و آماده

ماکسیمم سن یا مینیمم کیفیت محصولات

مجموعه ای از شیوه های فرآوری که مواد زراعی را به محصولات تبدیل می کنند.

واکنش های تبدیل ممکن برای یک شیوه فرآوری

ورودی های مورد نیاز و خروجی های تولید شده برای یک روش فرآوری؛

مجموعه ای از تولید، فرآوری و موقعیت های بازار

زمین موجود برای تولید

هزینه های مرتبط با استفاده از مکان

ارتباطات محتمل میان این مکان ها

تقاضای مورد انتظار

ظرفیت های دسترسی

حالات انتقال ممکن

محصول مربوطه، هزینه و پارامترهای تأثیر محیطی

انتخاب موارد زیر:

مساحت زمین برای کشت یک فرآورده

تعداد، اندازه و مکان تسهیلات فرآوری

شیوه فرآوری مورد استفاده

مقادیر فرآورده هایی که باید در هر دوره زمانی برداشت شوند.

مقادیر محصولات برای تولید و تقاضا برای پوشش در هر دوره زمانی

جریان و سیاهه کالای محصولات و مواد زراعی

در رابطه با

محدودیت های تولید و برداشت

محدودیت های سیاهه کالا و نقل و انتقال

محدودیت های مکان، تخصیص و فرآوری

محدودیت های کیفیت و قابلیت فساد

محدودیت های خاص مورد

اهداف طراحی می توانند حیطه های مختلف پایداری نظیر بیشینه سازی حاشیه سود کل (TGM) با کمینه سازی پتانسیل گرم شدن زمین (GWP) را در معادل های CO₂ پوشش دهد که مربوط به تأثیر اقتصادی و محیطی AFSCهاست که قبلاً بدان اشاره شد. به علاوه، ابهامات مرتبط با AFSC را می توان مشارکت داد.

جدول 1- رده های عمومی استفاده شده برای تعاریف زیرمجموعه ها

Set	Subsets
\mathcal{P}	crop, agro, in, out
\mathcal{L}	farm, processing, market

3-3- فرمولاسیون مدل

فرمول مدل مبتنی برتعریف حاصل از بخش 2-3 از رده هایی از محصولات و مکان ها، و شیوه کلی مدلسازی قابلیت فساد استفاده کرده که در چند پاراگراف زیر در مورد آن ها توضیح داده شده است.

ساختار AFSC طبیعتاً منجر به ایجاد تعدادی زیرمجموعه کلی یا رده هایی از محصولات و مکان ها می شود. این رده ها را می توان در فرمول مدل استفاده کرد، چون این قیود می توانند مرتبط با تعدادی از این رده ها باشند، اما به کل مجموعه مرتبط نیستند. به عنوان نمونه، برداشت تنها در مکان های زراعت رخ می دهد که قیود تولید و برداشت را تنها به مکان هایی در آن رده مربوط می سازد. دیگر رده ها برای مکان ها مکان های فرآوری و بازارهایی برای توزیع و مصرف افراد در رده پایین هستند. در مکان های زراعی رده محصولات مرتبط در نظر گرفته شده دانه های رشد یافته، و مواد زراعی به دست آمده از این فرآورده ها پس از برداشت هستند. به علاوه ممکن است تقاضا برای محصولات نیمه آماده یا آماده خروجی فرآوری باشد. یک محصول محدود به یک رده نیست. محصولات موجود در رده های مواد زراعی و خروجی ها می توانند در رده ورودی های فرآوری نیز قرار گیرند. شناساگرهای رده کلی در جدول 1 نشان داده شده اند.

راه های متعددی برای مدلسازی قابلیت زوال وجود دارد. در موردی که قابلیت فساد مرتبط با تنزل کیفیت محصول به دلیل شرایط محیط و گذر زمان است، قابلیت فساد محصولات را می توان به عنوان تعداد رده های کیفیت جدا از هم، بر مبنای تابع زوال کیفیت مدلسازی کرد. در عوض، اگر قابلیت فساد عمدتاً مربوط به زمان باشد می تواند به

صورت مستقیم یا غیر مستقیم در قیود مربوط به طول عمر در قفسه مشارکت داده شود. در مورد اول، شاخصی برای نمایش سطح کیفیت مجزا استفاده شده و محصولات حد پایین تری برای کیفیت دارند که برای فراوری یا توزیع پذیرفته شده است. در مورد دوم این شاخص را می توان به عنوان شمارنده طول عمر تفسیر کرد و محصولات کران بالایی نسبت به سن دارند که در آن محصولات برای فراوری و توزیع پذیرفته شده اند. نوع مدلسازی قابلیت فساد مورد نیاز وابسته به مورد است.

بر مبنای شرح فوق، یک مدل MILP فرموله بندی شده است. شاخص ها و مجموعه های زیر استفاده شده اند:

d	$\in \mathcal{D}$
j, j'	$\in \mathcal{L}$
\mathcal{L}_i	$\subset \mathcal{L}$
p, p'	$\in \mathcal{P}$
\mathcal{P}_i	$\subset \mathcal{P}$
q, q'	$\in \mathcal{Q}$
r	$\in \mathcal{R}$
t	$\in \mathcal{T}$

به ترتیب:

مجموعه ای از طرح تسهیلات

مجموعه ای از مکان ها

مکان هایی که از رده مکان هستند

مجموعه ای از محصولات

محصولاتی که از رده محصول $i \in \{1..PI\}$ هستند

کیفیت یا سن محصولات

مجموعه ای از واکنش های تبدیل

مجموعه وقفه های زمانی

پارامترهای استفاده شده در مدل به شرح زیر هستند:

al_j

$aq_{p,j}$

cd_p

$cf_{d,j}$

ch_p

زمین قابل زرع موجود در مکان j

سهم تولید قابل زرع برای محصول p در مکان j

هزینه تخلیه محصول p

هزینه ثابت افتتاح طرح تسهیلات d در مکان j

هزینه هولدینگ محصول p

$cp_{p,r}$

$ct_{p,j,j'}$

$dem_{p,j,t}$

$df_{p,t,p',j}$

ea_p

هزینه فرآوری p با استفاده از واکنش تبدیل r

هزینه حمل و نقل برای انتقال محصول p از مکان j به j'

تقاضا برای محصول p در مکان j در زمان t

عامل تقاضا برای محصول p در زمان t بهره برداری از فرآورده p' در j

انتشار گاز CO_2 مربوط به کشاورزی و تولید محصول p

ed_p

$ep_{p,r}$

$et_{p,j,j'}$

$mb_{p,q,p',q',r}$

$pc_{d,r}$

انتشار گازهای CO_2 مربوط به تخلیه محصول p

انتشار گاز CO₂ مربوط به فرآوری p با استفاده از واکنش تبدیل r

انتشار گاز CO₂ مربوط به حمل و نقل محصول p از مکان j به j'

صورتحساب مواد محصول p با کیفیت q از محصول p' با کیفیت q' در واکنش تبدیل r

$$pc_{d,r}$$

$$pcl_{p,r}$$

$$pp_p$$

$$q_p^{lim}$$

$$qd_{p,q',q}$$

$$sc_{p,d}$$

$$yc_{p,q,p',t}$$

ظرفیت فرآوری در طرح تسهیلات d برای واکنش تبدیل r

بار ظرفیت محصول p در واکنش تبدیل r

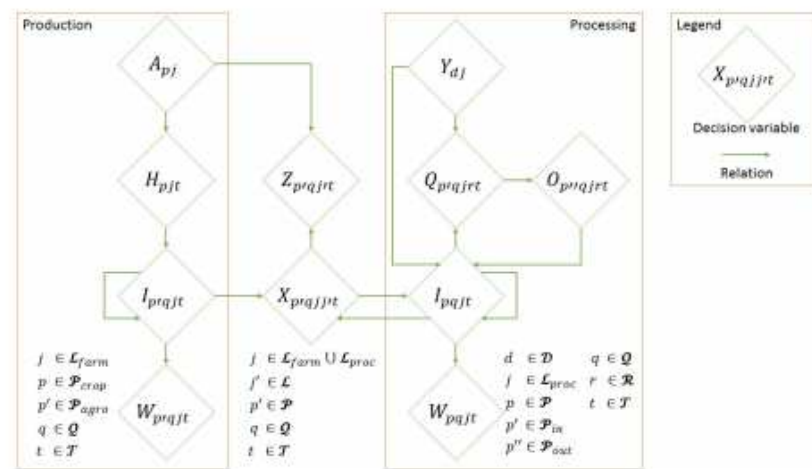
قیمت محصول p

حد کیفیت برای محصول p

عامل زوال کیفیت محصول p از q به q' در هر دوره زمانی

ظرفیت ذخیره سازی محصول p در طرح تسهیلات d

محصول فرآورده p با کیفیت q در زمان برداشت محصول p' در زمان t



شکل 2- وابستگی درونی میان متغیرهای استفاده شده در مدل

متغیرهای تصمیم استفاده شده در مدل به شرح زیر هستند:

$$\begin{aligned} &A_{p,j} \\ &H_{p,j,t} \\ &I_{p,q,j,t} \\ &O_{p,q,j,r,t} \\ &Q_{p,q,j,r,t} \end{aligned}$$

مساحت زمان اختصاص یافته به رشد محصول p در مکان j

منطقه برداشت شده p در مکان j در زمان t

سیاهه کالای محصول p با کیفیت q در مکان j در زمان t

مقدار خروجی محصول p با کیفیت q در مکان j از واکنش r در زمان t

کمیت فراوری شده محصول p با مقدار q در مکان j در واکنش r در زمان t

$$\begin{aligned} &W_{p,q,j,t} \\ &X_{p,q,j,j',t} \\ &Y_{d,j} \\ &Z_{p,q,j,t} \end{aligned}$$

محصول تلف شده p از کیفیت q در مکان j در زمان t

جریان محصول p با کیفیت q از j به j' در زمان t

تسهیلات افتتاح شده با استفاده از طرح فراوری d در مکان j

تقاضا برای محصول p که با کیفیت q در مکان j در زمان t برطرف شده است.

روابط میان متغیرهای مختلف مدل در شکل 2 ارائه شده اند. در بخش های بعدی شروطی که این روابط را تخصیص

می دهند به ازای هر نوع قید شرح یافته در بخش 3-2 مرتب شده اند. قیود با استفاده از شناساگرهای رده از جدول

1 تعریف شده اند.

3-1- شرط های تولید و برداشت

اولین نوع شرط هایی که با آن مواجهیم مربوط به تولید مواد زراعی در AFSC می باشد. این شرط ها به صورت زیر فرموله شده اند:

$$\sum_{p \in \mathcal{P}_{crop}} A_{p,j} \leq al_j \quad \forall j \in \mathcal{L}_{farm} \quad (1)$$

$$\sum_{t \in T} H_{p,j,t} = A_{p,j} \quad \forall p \in \mathcal{P}_{crop}, j \in \mathcal{L}_{farm} \quad (2)$$

معادله (1) کل زمین اختصاص یافته به محصول را در زمین موجود قابل زرع در مکان معینی محدود می کند. از برداشت کامل با گذر زمان از زمین اختصاص یافته بواسطه معادله (2) اطمینان داده شده است. در برخی موارد قیود خاصی برای محدود کردن ماکسیمم منطقه برای محصولات معین می تواند لازم باشد، به عنوان نمونه برای جلوگیری از تک زرع یا امکان چرخش محصول. در این مقاله تنها یک سال در نظر گرفته شده است. اگر بیش از یک سال یا فصل کاشت محصول در نظر گرفته شود، می توان بعد زمانی را نیز به این قیود افزود که نشانگر سال یا فصل می باشند. محصولات برداشت شده مواد غذایی و خاک را از مکان تولید حذف می کنند که می توان آن را با بازگردان محصولات جانبی و روندهای زاید از فرآوری به مزارع تخلیه کرد. به عنوان نمونه، خاک و کود آهکی در زنجیره فرآوری چغندر قند تولید شده اند که می توان برای حاصلخیز کردن آن ها را به زمین بازگرداند. تقاضا برای این جریان های بازگشت بنابراین وابسته به منطقه ای است که کشت روی آن صورت می گیرد. از اینرو شرط تقاضا برای این محصولات بازگشتی را می توان به صورتی که در معادله (3) نشان داده شده اضافه کرد. در موردی که محدودیت های قانونی یا عملی برای تولید محصول برداشت شده وجود دارد، نظیر موردی که تحت سیستم سهم چغندر قند اروپایی ها مشاهده شد، یک شرط قابل اعمال برای محدود کردن کمیت محصول تولید شده در یک مزرعه وجود دارد که در معادله (4) شرح داده شده است.

$$\sum_{q \in \mathcal{Q}} Z_{p,q,j,t} \leq \sum_{p' \in \mathcal{P}_{crop}} df_{p,t,p',j} \times A_{p',j} \quad \forall p \in \mathcal{P}_{return}, j \in \mathcal{L}_{farm}, t \in T \quad (3)$$

$$\sum_{q \in \mathcal{Q}} \sum_{p' \in \mathcal{P}_{crop}} \sum_{t \in T} y_{p,q,p',t} \times H_{p',j,t} \leq aq_{p,j} \quad \forall p \in \mathcal{P}, j \in \mathcal{L}_{farm} \quad (4)$$

3-2-3- شروط سیاهه کالا و حمل و نقل

محصولات برداشته شده در مکان های زرع به سیاهه کالا اضافه شده اند. چون برداشت مربوط به دیگر مکان ها نیست، معادله مانده سیاهه کالا به دو بخش تقسیم شده است. مانده سیاهه کالا در مکان های زرع با معادله (5a) تعریف شده است. برای هر ماده زراعی، مقدار در سهام در آغاز یک دوره با محصول برداشت آن محصول در آن مقدار تعیین شده و سهمی که در دوره قبلی برداشت شده است. این مسأله به عنوان تفاوت بین سیاهه کالای دوره قبلی، مقدار محصول حذف شده از طریق حمل و نقل، هدررفت و پوشش تقاضا تعریف شده و در فاکتور زوال ضرب شده تا مقدار در دوره زمانی بعدی تعیین شود.

$$I_{p,q,j,t} = \sum_{p' \in \mathcal{P}_{crop}} y_{c_{p,q,p'},t} \times H_{p',j,t} + \sum_{q' \in \mathcal{Q}} qd_{p,q',q} \times (I_{p,q',j,t-1} - \sum_{j' \in \mathcal{L}_{proc}} X_{p,q',j',t-1} - W_{p,q',j,t-1} - Z_{p,q',j,t-1}) \quad \forall p \in \mathcal{P}_{agro}, q \in \mathcal{Q}, j \in \mathcal{L}_{farm}, t \in \mathcal{T} \quad (5a)$$

مشابهاً معادله (5b) مقدار موجود از یک محصول را با مقدار معینی در مکان فراوری در زمان معین تعریف می کند. موجودی در آغاز یک دوره باز هم وابسته به انباشت انجام شده از دوره قبلی است که مرتبط با عامل زوال برای تعیین کمیت در دوره فعلی است. دو عبارت اول به موجودی دوره قبلی و مقدار بعدی محصولات اشاره دارند. سومین و چهارمین عبارت نشانگر مقدار محصولاتی هستند که طی فراوری مصرف و تولید شده اند، در حالیکه سه عبارت آخر به مقدار محصولاتی اشاره می کند که از طریق حمل و نقل، هدررفت و پوشش تقاضا حذف شده اند.

$$I_{p,q,j,t} = \sum_{q' \in \mathcal{Q}} qd_{p,q',q} \times (I_{p,q',j,t-1} + \sum_{j' \in \mathcal{L}} X_{p,q',j',t-1} - \sum_{r \in \mathcal{R}} Q_{p,q',j,r,t-1} + \sum_{r \in \mathcal{R}} O_{p,q',j,r,t-1} - \sum_{j' \in \mathcal{L}} X_{p,q',j',t-1} - W_{p,q',j,t-1} - Z_{p,q',j,t-1}) \quad \forall p \in \mathcal{P}, j \in \mathcal{L}_{proc}, t \in \mathcal{T}, q \in \mathcal{Q} \quad (5b)$$

q با مقدار p افزوده شود تا نشانگر موجودی آغازین محصول t=1 می تواند برای $i_{p,q,j}^0$ در هر دو معادله، پارامتر به عنوان شمارشگر سن مدلسازی شده است، q باشد. در موردی که زوال پذیری با استفاده از شاخص j در مکان باشد و در غیر اینصورت 0 است که بدین $q' = q - 1$ پارامتر فساد در صورتی مقدار 1 به خود می گیرد که

(5) شروط طول عمر قفسه کاهش (b) و (5c) را می توان به معادله (5b) و معادله (a) معناست که شروط معادله (5) و همکارانش (2014) مراجعه van Elzakker داد. برای شرح تفصیلی تر قیود مستقیم طول عمر قفسه ما به کار می کنیم.

$$I_{p,q,j,t} = \sum_{p' \in \mathcal{P}_{crop}} y_{p,q,p',t} \times H_{p',j,t} + I_{p,q-1,j,t-1} - \sum_{j' \in \mathcal{L}_{proc}} X_{p,q-1,j,j',t-1} - W_{p,q-1,j,t-1} - Z_{p,q-1,j,t-1} \quad \forall p \in \mathcal{P}_{agro}, q \in \mathcal{Q}, j \in \mathcal{L}_{farm}, t \in \mathcal{T} \quad (5c)$$

$$I_{p,q,j,t} = I_{p,q-1,j,t-1} + \sum_{j' \in \mathcal{L}} X_{p,q-1,j',j,t-1} - \sum_{r \in \mathcal{R}} Q_{p,q-1,j,r,t-1} + \sum_{r \in \mathcal{R}} O_{p,q-1,j,r,t-1} - \sum_{j' \in \mathcal{L}} X_{p,q-1,j,j',t-1} - W_{p,q-1,j,t-1} - Z_{p,q-1,j,t-1} \quad \forall p \in \mathcal{P}, j \in \mathcal{L}_{proc}, t \in \mathcal{T}, q \in \mathcal{Q} \quad (5d)$$

جریان محصولات محدود به کمیت موجود در یک دوره زمانی با معادله (6) است. این فرمول به جریان محصولات بین مکان ها در یک اشل و موقعیت های در اشل های مختلف محدود است. جریان بازگشتی محصولات در مدل بنابراین مطلب امکان ترکیب با تقاضا برای این محصولات را به صورتی که با معادله (3) نشان داده شده را فراهم می کند.

$$\sum_{j' \in \mathcal{L}} X_{p,q,j,j',t} \leq I_{p,q,j,t} + \sum_{r \in \mathcal{R}} O_{p,q,j,r,t} - \sum_{r \in \mathcal{R}} Q_{p,q,j,r,t} \quad \forall p \in \mathcal{P}, j \in \mathcal{L}, t \in \mathcal{T}, q \in \mathcal{Q} \quad (6)$$

3-3-3- مکان، شروط تخصیص و فراوری

مکان، شروط تخصیص و فراوری اطمینان می دهند که تخصیص منبع و تقاضا و فراوری می تواند تنها در موقعیت های فعال رخ دهند. موجودی محدود به ظرفیت موجودی با معادله (7) است. مشابهاً ما جمع محصولات فراوری شده را وزن دهی کرده ایم که محدود به ظرفیت فراوری موجود بواسطه معادله (8) و افتتاح تسهیلات در یک مکان که با معادله (9) محدود شده است می باشد. مقدار محصولات فراوری شده با مقدار موجود از محصولات از موجودی و حمل و نقل از طریق معادله (10) محدود شده است.

$$\sum_{q \in Q} I_{p,q,j,t} \leq \sum_{d \in D} sc_{p,d} \times Y_{d,j} \quad \forall p \in P, j \in L_{proc}, t \in T \quad (7)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{q \in Q} pcl_{p,r} \times Q_{p,q,j,r,t} \leq \sum_{d \in D} pc_{d,r} \times Y_{d,j} \quad \forall r \in R, j \in L_{proc}, t \in T \quad (8)$$

$$\sum_{d \in D} Y_{d,j} \leq 1 \quad \forall j \in L_{proc} \quad (9)$$

$$\sum_{r \in R} Q_{p,q,j,r,t} \leq I_{p,q,j,t} + \sum_{j' \in L} X_{p,q,j',j,t} \quad \forall p \in P, q \in Q, j \in L_{proc}, t \in T \quad (10)$$

به علاوه، معادله (11) مقدار مورد نیاز از ورودیهای فرایند در خروجی های تولید شده طبق صورت حساب مواد واکنش تبدیل را به هم ربط می دهد:

$$O_{p',q',j,r,t} = \sum_{p \in P} \sum_{q \in Q} mb_{p,q,p',q',r} \times Q_{p,q,j,r,t} \quad \forall p' \in P, q' \in Q, j \in L_{proc}, r \in R, t \in T \quad (11)$$

تخصیص منبع با ظرفیت فراوری با ترکیب معادله (5b)، معادله (6)، معادله (8) و معادله (10) کنترل شده است. تخصیص تقاضا با معادله (12) در نظر گرفته شده است.

$$\sum_{q \in Q} Z_{p,q,j,t} \leq dem_{p,j,t} \quad \forall p \in P, j \in L, t \in T \quad (12)$$

این شرط همراه با معادله شروط تعادل موجودی (5a) و معادله (5b) عمل می کند. این شرط از آن اطمینان می دهد که تقاضا تنها می تواند از موجودی با سطوح کیفیت قابل قبول پوشش یابد، چون محصولات زمانی به عنوان ضایعات در نظر گرفته می شوند که سطح کیفیت غیر قابل قبول باشد. توجه داشته باشید که محدودیت تقاضا می تواند با فرمول های مشابهی جایگزین شود یا بسط یابد که نشانگر کران پایین تری برای پوشش تقاضا می باشند. محدودیت های خاص مورد دیگر برای فراوری را می توان برای محدود کردن تعداد تسهیلات افتتاح شده، یا برای نشان دادن زیرساختار موجود اضافه کرد.

3-3-4- شوط کیفیت و فاسد شوندگی

زوال کیفیت موجودی وکل فراوری با معادله (5a)، معادله (5b) و معادله (11) نشان داده شده است. وقتی محصولات به سطح کیفیت زیر حد کیفیت خود می رسند، یا قبل از ماکسیمم سنشان مصرف نمی شوند، به عنوان ضایعات در

نظر گرفته می شوند. این مسأله با فرمول (13) برای حد کیفیت پایین تر نشان داده شده است. اگر کیفیت به عنوان سن مدلسازی شود، حد کیفیت به کران بالا تبدیل می شود.

$$W_{p,q,j,t} = I_{p,q,j,t} + \sum_{j' \in \mathcal{L}} X_{p,q,j',j,t} - \sum_{j' \in \mathcal{L}} X_{p,q,j,j',t} + \sum_{r \in \mathcal{R}} O_{p,q,j,r,t} - \sum_{r \in \mathcal{R}} Q_{p,q,j,r,t} \quad \forall p \in \mathcal{P}, j \in \mathcal{L}, t \in \mathcal{T}, q \in \mathcal{Q} | q \leq q_p^{lim} \quad (13)$$

در عوض، یک شرح ضمنی از ضایعات از معادلات توازن موجودی کالای (5a) و (5b) حاصل شده و محدودیتی که موجودی کالای صفر برای تمامی محصولات $p \in \mathcal{P}$ برای مقادیر $q \in \mathcal{Q}$ زیر مقدار قطع جریان q_p^{lim} صادق است.

3-5-3- توابع هدف

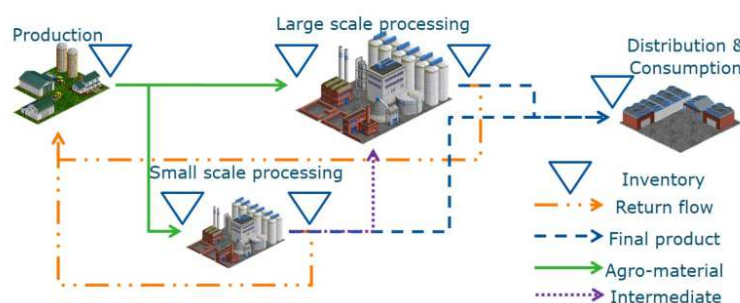
دو تابع هدف در نظر گرفته شده اند. TGM نشان دهنده هدف اقتصادی است که باید بیشینه شود و GWP تابع هدف محیطی است که باید کمینه شود.

$$TGM = \sum_{p \in \mathcal{P}} \sum_{q \in \mathcal{Q}} \sum_{j \in \mathcal{L}} \sum_{t \in \mathcal{T}} pp_p \times Z_{p,q,j,t} - \sum_{p \in \mathcal{P}} \sum_{q \in \mathcal{Q}} \sum_{j \in \mathcal{L}} \sum_{j' \in \mathcal{L}} \sum_{t \in \mathcal{T}} ct_{p,j,j'} \times X_{p,q,j,j',t} - \sum_{p \in \mathcal{P}} \sum_{q \in \mathcal{Q}} \sum_{j \in \mathcal{L}} \sum_{t \in \mathcal{T}} ch_p \times I_{p,q,j,t} - \sum_{p \in \mathcal{P}} \sum_{q \in \mathcal{Q}} \sum_{j \in \mathcal{L}} \sum_{t \in \mathcal{T}} cd_p \times W_{p,q,j,t} - \sum_{p \in \mathcal{P}} \sum_{q \in \mathcal{Q}} \sum_{j \in \mathcal{L}} \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{t \in \mathcal{T}} cp_{p,r} \times Q_{p,q,j,r,t} - \sum_{d \in \mathcal{D}} \sum_{j \in \mathcal{L}} cf_{d,j} \times Y_{d,j} \quad (14)$$

$$GWP = \sum_{p \in \mathcal{P}} \sum_{j \in \mathcal{L}} ea_p \times A_{p,j} + \sum_{p \in \mathcal{P}} \sum_{q \in \mathcal{Q}} \sum_{j \in \mathcal{L}} \sum_{j' \in \mathcal{L}} \sum_{t \in \mathcal{T}} et_{p,j,j'} \times X_{p,q,j,j',t} + \sum_{p \in \mathcal{P}} \sum_{q \in \mathcal{Q}} \sum_{j \in \mathcal{L}} \sum_{t \in \mathcal{T}} ed_p \times W_{p,q,j,t} + \sum_{p \in \mathcal{P}} \sum_{q \in \mathcal{Q}} \sum_{j \in \mathcal{L}} \sum_{r \in \mathcal{R}} \sum_{t \in \mathcal{T}} ep_{p,r} \times Q_{p,q,j,r,t} \quad (15)$$

معادله (14)، TGM را توصیف می کند و از تفاوت بین مقدار تمام محصولات فروخته شده و هزینه های حمل و نقل، نگهداری موجودی، تخلیه ضایعات، فرآوری، و هزینه های استهلاک تسهیلات تشکیل شده است. در این فمورل حالت انتقال برای یک محصول بین دو مکان به عنوان یک مورد مشخص در نظر گرفته شده است، از اینرو هزینه حمل و نقل وابسته به محصول است و به صراحت به حالت حمل و نقل بستگی ندارد. پارامتر هزینه برای فرآوری شامل هزینه منبع یابی تمام ورودی های فرایند و هزینه های عملیاتی از انرژی و نیروی کار است.

مشابهاً معادله (15) GWP سیستم مدلسازی شده را توصیف می کند و شامل $\text{CO}_2\text{-eq}$ مرتبط با تولید کشاورزی، حمل و نقل، تخلیه و فرآوری ضایعات است. چون حالت حمل و نقل برای یک محصول بین دو مکان در این فرمول ثابت است، گازهای منتشر شده مربوط به حمل و نقل به محصول وابسته اند و واضح است که به حالت حمل و نقل ارتباطی ندارند. برای شمول مدالیتة در متغیرهای تصمیم، می توان شاخص دیگری به جریان کالاها افزود و پارامترها برای هزینه حمل و نقل و انتشار حمل و نقل باید مرتبط با این شاخص تعریف شوند نه با شاخص محصول.



شکل 3- مراحل و انواع جریان کالاهای در نظر گرفته شده در پیاده سازی موردی

4- شرح مطالعه موردی

مدل عمومی به صورتی که در بخش 3-3 نشان داده شده در مورد زنجیره فراوری چغندر قند در هلند به کار رفته و بر مبنای کار Kolfshoten و همکاران (2014) و Jonkman و همکاران (2017) بنا نهاده شده است. این زنجیره فراوری تغییرات عمده ای در تأمین چغندر قند و بازآفرینی برای محصولات نهایی آن ها به دلیل تغییر قانون اتحادیه اروپا تجربه کرده است. تغییرات مشابهی در بخش لبنی منجر به تغییرات اساسی در آن بخش شده، از این رو ارزیابی پیکربندی زنجیره تأمین فعلی در بخش چغندر قند ضروری و حیاتی است و این به دلیل بازارهای روز افزون و کاربردهای جدید محصولات مشتقه از چغندر قند است.

این مطالعه موردی می تواند کاربرد مدل برای کاربردهای دنیای واقعی را نشان دهد، چون تصمیم های برداشت و فراوری را در مسأله طراحی AFSC با محصولات فصلی و فاسد شونده، جریان های پسین و بازگشتی، محدودیت های ظرفیت ادغام کرده و امکان وجود جریان های محصول را در اشل فراوری می دهد (شکل 3). هر مکان تولیدی تصمیمات زیر را دارد:

- (1) چه مقدار زمین برای تولید یک محصول با توجه به زمین موجود باید اختصاص یابد؛
 - (2) در چه دوره ای بهره برداری از محصول با توجه به رسیدن محصول باید صورت گیرد.
- کمپین چغندر قند به مدت 3-4 ماه طول می کشد و طول مدت کمپین و محصول برداشت وابسته به شرایط آب و هوایی مبهم است. تصمیم (1) روی تقاضای یک مزرعه از جریان های بازگشتی خاک و کود آهک از اشل فراوری تأثیر می گذارد. به علاوه، تصمیم (2) کیفیت محصولاتی را تعیین می کند که برای حمل نقل در زمان t در دسترسند. تسهیلات فراوری قبلی مشخص در نظر گرفته شده اند. مکان فراوری مواد زراعی را از موقعیت های تولید می گیرد و محصولات را از دیگر مکان های فراوری ارائه می کند. این ورودی ها را می توان به خروجی هایی نظیر محصولات واسطه، محصولات بازگشتی و محصولات نهایی تبدیل کرد. تصمیمات مدلسازی شده به شرح ذیل هستند:
- (3) نوع راحتی تسهیلات افتتاح شده و شیوه فراوری استفاده شده در مکان
 - (4) مقدار ورودی ها و خروجی ها برای هر دوره دریافت و پخش
- کمیت ورودی هایی که می توانند به خروجی های فراوری شوند بسته به تصمیم (3) است و در واقع روی مقدار محصولاتی تأثیر می گذارد که می توان آن ها را پخش کرد (4) و جریان محصولات در توزیع و مصرف پایین دست، و جریان محصولات بازگشتی به مکان های تولید محدود به تقاضای قبلی برای این محصولات است. رده محصولات و مکان نشان داده شده در جدول 1 در مدل استفاده شده اند و رده دیگری برای محصولات نیز وجود دارد که جریان عقبگرد در زنجیره تأمین دارد چون طبق تعریف فوق از اشل فراوری به مزارع بازگردانده شده اند.

جدول 2- مقادیر پارامتر مربوط به مکان

Description	Value	Based on
Transport		
ct	*	Jonkman et al. (2017)
et	$82.5\text{g CO}_2\text{-eq} \times \text{ton}^{-1} \times \text{km}^{-1}$	Klenk et al. (2012)
Supply and demand		
al and bq	*	CBS (2014)
yc for sugar beet	$80 \text{ ton} \times \text{ha}^{-1}$	Kolfschoten et al. (2014)
ea for sugar beet	$2.69 \text{ ton CO}_2\text{-eq} \times \text{ha}^{-1}$	Klenk et al. (2012)
dem	*	Jonkman et al. (2017)

* See the accompanying data file which can be accessed through the website of the journal

جدول 3- محصولات و عضویت زیرمجموعه ها

P_i	Members
crop	beetroot
agro	sugar beet, beet leaves
in	sugar beet, beet leaves, raw sugar
out	sugar, raw sugar, ethanol, biogas, lime fertilizer, molasses, beet pulp, tare soil
return	molasses, beet pulp, lime fertilizer, tare soil
final	sugar, raw sugar, ethanol, biogas

مقادیر پارامترهای مرتبط با مکان در جدول 2 نشان داده شده اند. محصولات در نظر گرفته شده در این مورد و عضویت آن ها از زیرمجموعه های مختلف در جدول 3 برای شفاف سازی ارائه شده است. به علاوه مقادیر پارامترهای مرتبط با محصول در جدول 4 ارائه شده اند. طراحی های فرایند در نظر گرفته شده در (3) طراحی مرسوم مورد استفاده در تسهیلات قبلی بوده و طراحی از نوع پالایش زیستی مقیاس کوچک تر پیشنهادی Kolfshoten و همکارانش (2014) می باشد. طراحی مرسوم متمرکز بر تبدیل چغندر قند به شکر سفید یا کود آهک، پالپ چغندر، و خاک علفی به عنوان محصولات علاوه بر سازمان است. طراحی مقیاس خرد چغندر قند و برگ های چغندر را به شکر خام، اتانول، گاز زیستی و علف تبدیل می کند. شکر خام را می توان در بازار به عنوان محصول نهایی به فروش رساند، اما می توان آن را با تسهیلات مرسوم به شکر سفید تبدیل کرد.

مقادیر پارامترهای مرتبط با فراوری در جدول 5 ارائه شده اند. بهسازی و انتقال مورد نیاز دیگر ورودی های فراوری به صورت غیرمستقیم در هزینه فراوری در نظر گرفته شده، چون هزینه خرید چغندر قند از زراعتگران است. گازهای منتشره مربوط به فراوری بر مبنای مصرف انرژی یک تبدیل محاسبه شده اند. گاز زیستی تولید شده بواسطه پالایش زیستی از انتشار گاز دیگر منابع انرژی توسط مصرف کنندگان جلوگیری می کند. این گازهای بازدارنده از گازهای منتشره مربوط به واکنش تبدیل در پالایش زیستی کسر شده اند و منجر به ایجاد مقدار انتشار منفی شده اند.

جدول 4- مقادیر پارامترهای مرتبط با محصول بر مبنای الف) کار Jonkman و همکارانش (2017)؛ ب)

Kolfshoten و همکاران (2014) ج) فرضیه

Product	pp^a ($\text{€} \times \text{ton}^{-1}$)	Traditional ^b	mb Biorefinery ^b	Raw sugar refining ^c
sugar beet	.	1	1	.
beet leaves	.	.	0.5	.
white sugar	500	0.14625	.	0.9
raw sugar	450	.	0.125	1
ethanol	400	.	0.01875	.
biogas	90	.	0.1575	.
molasses	150	0.03375	.	0.1
beet pulp	45	0.1	.	.
lime	6	0.0275	.	.
tare	10	0.125	0.125	.

جدول 5- مقادیر پارامترهای مرتبط با فرآوری بر مبنای کار الف) Kolfshoten و همکاران (2014)؛ ب) Jonkman و همکاران (2017)؛ ج) فرضیه؛ د) محاسبه شده بر مبنای کار اسدی (2006)، Klenk و همکاران (2012)

Facility design ^a	Daily capacity (kton)	Annual fixed cost ^b (M€)	<i>cp</i>			<i>ep</i>		
			Trad. ^b	Bioref. ^b	Refin. ^c	Trad. ^d	Bioref. ^d	Refin. ^d
			(€×ton ⁻¹)			(kg CO ₂ -eq×ton ⁻¹)		
Conventional	25	8.33	62.3	.	12.9	60.27	.	29
	15	5	63.36	.	.			
	10	3.67	65.49	.	.			
Biorefinery	15	5	.	63.36	.	.	-92.4	.
	10	3.67	.	65.49	.			
	6	2.67	.	69.53	.			

5- نتایج موردی و بحث

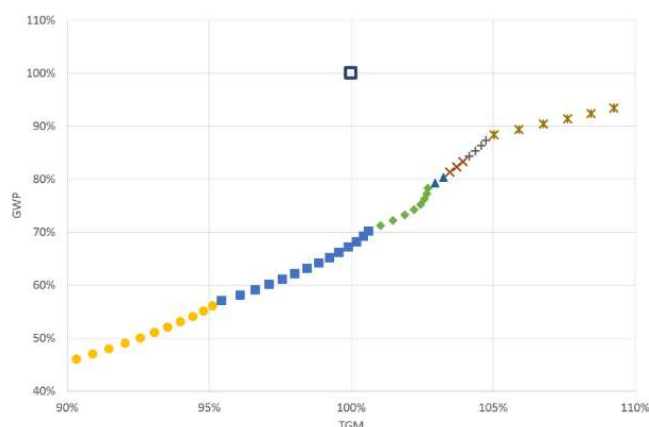
برای روایی مدل، نتیجه مورد مبنای Jonkman و همکارانش بازایی شده است. مقیاس هزینه و درآمد محاسبه شده بر مبنای نتایج با استفاده از کار Rosenboom و همکارانش (2013) محاسبه شده است. رد پای کربن محاسبه شده به میزان 731 کیلوگرم $\text{CO}_2\text{-eq}$ در هر تن شکر در طیف 242-748 کیلوگرم $\text{CO}_2\text{-eq}$ که میانگینی بود که توسط Klenk و همکارانش (2012) برای اتحادیه اروپا ارائه شده بود. پس از روایی مدل، معادله شرطی (4) تنزل یافت تا نشانگر حذف محدودیت قانونی در مورد تولید چغندر باشد که امکان افزایش بهره بداری از چغندر را برای

همسازی با رشد پیش بینی شده 20 درصدی فراهم می کرد. پیکربندی زنجیره تأمین بهینه بدون در نظر گرفتن منبع فصلی و فاسدشدنی بودن چغندر قند تعیین شد. متعاقباً مدل ارائه شده برای تعیین پیکربندی زنجیره تأمین بهینه استفاده شده بود در حالی که تصمیمات بهره برداری، منبع فصلی و فاسدشدنی بودن چغندر قند را شامل می کرد. وقفه های دوازده تایی برای یک سال در نظر گرفته شدند، در حالی که برداشت در سه وقفه از این دوازده وقفه، هر بار با حاصل برداشت شده مورد انتظار ممکن بود. برگ های چغندر قند تنها در ودوره زمانی برداشت آن ها موجودند و این به دلیل این است که فاسدشونده اند، در حالی که مرز سنی چغندر قند در وقفه زمانی پس از برداشت می باشد. حساسیت نتایج مدل برای تقاضا، محصول برداشت، هزینه حمل و نقل، گردآوری داده های منبع و تقاضا در سطح شهر یا در سطح منطقه بررسی شد. مدل با استفاده از نمونه های مختلفی از این پارامترها و با استفاده از دو هدف حل شد. پیکربندی بهینه به محض تغییرات در هزینه حمل و نقل در طیف تست شده $\pm 10\%$ تغییری نکرد. مشابهاً گردآوری پارامترهای مربوط به منبع و تقاضا در سطح منطقه ای منجر به ایجاد پیکربندی زنجیره تأمین بهینه متفاوت در مقایسه با مقیاس تجمیعی اولیه در سطح شهری نشد. تغییرات پارامتر تقاضا در وقفه 10٪ تا 20٪ روی ترکیب بهینه طراحی تسهیلات، ظرفیت آن ها، مکان و تخصیص منبع تأثیر می گذارد. جزئیات پیکربندی های زنجیره تأمین بهینه به دست آمده در بخش های بعدی ارائه شده است.

پیکربندی زنجیره تأمین بهینه بدون در نظر گرفتن فصلی بودن تعیین شد و پیکربندی تعیین شده با مدل پیشنهادی مشابه مواردی بود که در آن ها TGM بهینه شده و محصول برداشت طی فصل برداشت خیلی تغییری نکرده است. مشابهاً وقتی زوال پذیری دو رویکرد را کمتر محدود کند حاصل یکسان خواهد بود. پیکربندی های زنجیره تأمین با ظرفیت فراآوری علاوه بر سازمان با مدل پیشنهادی در آن مدل هایی به دست آمده اند که در آن ها محصولات پیک واضحی در محصول برداشت دارند و آن مواردی که در آن ها دسترسی به محصولات محدودتر از آن چیزی است که در آن تصمیمات برداشت به صراحت در نظر گرفته نشده اند.

5-1- تبادل بین اهداف

تبادل بین هدف اقتصادی و محیطی با استفاده از روش شرط ϵ بررسی شد. TGM در حین استفاده از شروط ϵ روی هدف محیطی که با GWP نشان داده شده بهینه شد. منحنی تبادل به دست آمده در شکل 4 نشان داده شده که در مقایسه با عملکرد مدلسازی شده پیکربندی زنجیره تأمین موجود فعلی است. شکل 4 نشان می دهد که تحت طرح قانونی جدید، فرصت هایی برای بهبود هر دو هدف پیش می آیند. هر بخش از سرحد راندمان پارتو متناظر با یک پیکربندی زنجیره تأمین است.



شکل 4- منحنی تبادل بین هدف اقتصادی و محیطی.

تسهیلات افتتاح شده در این پیکربندی ها علاوه بر تسهیلات موجود با نشان دادن عدد موقعیتشان توصیف شده اند؛ شناساگر نوع طرح برای ظرفیت فرآوری مرسوم (C) یا پالایش زیستی (B) و روزانه بر حسب کتون نشان داده شده اند. مقیاس عملکرد این پیکربندی ها در نقاط گذر روی سرحد در جدول 6 نشان داده شده اند. هر پیکربندی زنجیره تدمین بهینه متناظر با یک راه حل کامل خاص از مدل اس. گذرهای حاصل از پیکربندی به دیگری منجر به ایجاد منحنی تبادل غیرمحدب می شود.

هر چند موقعیت انتخاب شده برای افتتاح تسهیلات جدید در تمامی این پیکربندی ها مشابهند، تفاوت هایی میان نوع تسهیلات انتخابی وجود دارد و در برخی موارد بین ظرفیت ها نیز تفاوت وجود دارد تمام راه حل ها GWP را با کاهش فواصل حمل و نقل میانگین کم کرده اند. به علاوه استفاده از تسهیلاتی که طراحی پالایش زیستی دارند باعث بهبود هدف محیطی می شود و این به دلیل مشارکت منفی در تولید گازهای زیستی است. بخشی از شکر خام تولید

شده با پالایشگرهای زیستی به شکر سفید در مواردی فراوری شده که در آن ها هزینه حمل و نقل و فراوری بواسطه مزتی حالص از مقدار اقتصادی افزوده پالایش شکر خام منخط شده است.

کاهش GWP با استفاده از طراحی پالایش زیستی به وضوح در زمانی مشاهده می شود که پیکربندی هایی با هم مقایسه می شوند که در آن ها تنها یک تسهیلات علاوه بر سازمان افتتاح شده، یا از یک طرح پالایش زیستی یا از طراحی مرسوم است. GWP کل محاسبه شده برای این پیکربندی های زنجیره تأمین به ترتیب 494kg CO_2 -eq و $686\text{kg CO}_2\text{-eq}$ در هر تن شکر است، هر چند فواصل حمل و نقل میانگین برای پیکربندی با طراحی پالایش زیستی طولانی تر است.

جدول 6- مقیاس های عملکرد تعیین کننده پیکربندی های زنجیره تأمین در نقاط گذر روی سرحد راندمان پارتو، تسهیلات علاوه بر سازمان با استفاده از شماره مکان، نوع طراحی مرسوم یا پالایش زیستی و ظرفیت فراوری بر حسب kton نشان داده شده اند.

Configuration	TGM (M€)	GWP (kg CO ₂ -eq per ton sugar)	Average transportation distance agro-materials (km)	Average transportation distance products (km)	Sugar beet processed (Mton)	Demand for sugar covered (%)
1B15,8B15	54.7	394	31.0	42.0	6.27	100
8B15	57.9	494	35.8	48.3	6.18	100
1C15,8B15	59.1	551	31.0	43.2	6.13	100
3B15,8C15	59.4	565	30.3	44.9	6.19	100
1B15,8C15	59.8	586	31.8	42.5	6.10	100
1B10,8C15	60.3	615	32.0	44.1	6.08	100
8C15	64.3	686	34.5	48.2	6.01	100

این نشان می دهد که تولید محصولات جانبی با اثر منفی مربوطه تأثیر بیشتری روی GWP مطالعه موردی دارد تا کاهش فواصل میانگین.

پورتفولیوی محصول کلی طراحی با پالایش زیستی مقدار پایین تری دارد و این منجر به تبادل میان GWP و TGM می شود. منحنی تبادل نشان می دهد که تنها تعداد محدودی از مکان های تسهیلات بخشی از پیکربندی های زنجیره

تأمین بهینه هستند. تحلیل حساسیت نشان داده که پیکربندی زنجیره تأمین بهینه تحت تاثیر مقادیر پارامترهای نامعین برای تقاضا و حاصل برداشت است. از اینرو باید راه حلی پیدا شود که با توجه به مقادیر پارامتر نامعینی که روی پیکربندی زنجیره تأمین بهینه تأثیر می گذارند عملکرد خوبی داشته باشد.

5-2- ابهام تقاضا و محصول برداشت

با توجه به ابهامات مرتبط با محصول برداشت و ابهامات موجود در رشد مورد انتظار تقاضا برای محصولات، نسخه ای تصادفی از مدل برای شمول این ابهامات در تعیین پیکربندی زنجیره تأمین بهینه استفاده شد. سناریوها در ارتباط با تقاضا طبق رشد مورد انتظار فعلی توسعه یافتند، نه رشد در تضا، و کاهش اندکی در تقاضا برای محصولات تولید شده با احتمال پیش بینی شده 0/4، 0/45 و 0/15 مشاهده شد.

مشابهاً سناریوهایی که نشانگر محصولات برداشت فرای انتظارات بودند تطبیق پیش بینی های حاضر و زیر مورد انتظار با احتمال 0/15، 0/60 و 0/25 توسعه یابند. در کل، این منجر به ایجاد 9 سناریوی تست شده با نسخه تصادفی مدل شد.

جدول 7- جمع وزن دهی شده در تمام سناریوها از مقیاس های عملکرد پیکربندی زنجیره تأمین بهینه حاصل شده با نسخه تعیین کننده و تصادفی مدل. تسهیلات علاوه بر سازمان با استفاده از شماره مکان؛ نوع طراحی مرسوم (C) یا پالایش زیستی (B) و ظرفیت فرآوری روزانه بر حسب kton نشان داده شده اند.

	Deterministic	Stochastic
Additional facilities	8C15	1C15,8C15
Expected TGM (M€)	65.7	66.5
Expected GWP (kg CO ₂ -eq×ton sugar ⁻¹)	712	704
Average transp. distance agro-materials (km)	37.3	32.6
Average transp. distance products (km)	49.2	43.0
Transp. cost agro-materials (€×ton agro-material ⁻¹)	3.73	3.26
Transp. cost products (€×ton agro-material ⁻¹)	2.13	1.86
Acreage of beetroot (kha)	90	90
Sugar beet processed (Mton)	6.26	6.37
Expected demand for sugar covered (%)	98.0	99.5

شاخص S برای نشان دادن سناریوهای مختلف استفاده شد و به متغیرهای H, I, O, Q, W, X, Z و پارامترهای dem, و yc اضافه شد. یک پارامتر دیگر به نام pr_s برای نشان دادن احتمال هر سناریو تعریف شد و برای فرموله بندی تابع هدفی که TGM مورد انتظار را در تمام سناریوها طبق فرمول زیر بیشینه می سازد استفاده شد:

$$\max \sum_{s \in S} pr_s \times TGM_s \quad (16)$$

که در آن احتمال یک سناریو برای وزن دهی به عملکرد آن سناریو استفاده شده است. عملکرد وزن دهی شده در تمامی سناریوهایی این پیکربندی در جدول 7 نشان داده شده است. برای مقایسه، عملکرد پیکربندی زنجیره تدمین حاصل شده با رویکرد تعیین کننده برای تمام سناریوهای استفاده شده در مدل تصادفی محاسبه شد و عملکرد وزن دهی شده همراه با نتایج تصادفی ارائه شده است.

در نظر گرفتن ابهامات مرتبط با تقاضا و حاصل برداشت منجر به پیکربندی زنجیره تأمین بهینه با ظرفیت فراوری علاوه بر سازمان نسبت به مورد موجود برای نسخه تعیین کننده می شود. عملکرد مورد انتظار نسبت به هدف این پیکربندی برای سناریوهای تست شده بهتر از عملکرد پیکربندی تعیین کننده است.

ظرفیت علاوه بر سازمان انعطاف پذیری لازم برای افزایش تقاضای محصول را با محصول برداشت بالا، و پیک های در محصولات برداشت می دهد. اما پیکربندی تصادفی منجر به عملکرد پایین تر در سناریوهایی می شود که در آن ها تقاضا کمتر از تقاضای این مورد است و این به دلیل استهلاک تسهیلات علیرغم این است که آیا ظرفیت مورد استفاده قرار گرفته است یا خیر. چون هدف اقتصادی بیشینه شده است، هیچ تسهیلاتی با طراحی پالایش زیستی انتخاب نشده است، هر چند این ها در مواردی پیش بینی شده اند که در آن ها تعادلی بین هدف محیطی و اقتصادی وجود دارد.

6- بحث کلی و نتیجه گیری

کار زیادی در مورد مدل های طراحی زنجیره تأمین برای کاربردها در زمینه AFSC ها انجام نشده است. این فضای خالی فضایی است که تصمیمات بهره برداری را با طراحی زنجیره تأمین ادغام می کند، مشخصه ها و ابهامات خاص AFSC را در نظر می گیرد. ادغام این تصمیمات در طراحی AFSC استراتژیک منجر به شناسایی پیکربندی زنجیره تأمینی می شود که در مشخصه های فصلی AFSC بیشتر دیده می شوند. شرح مسأله عمومی و فرمول مدل ارائه

شده در این کار می تواند از تصمیم گیرندگان در صنعت آگرو فود برای شناسایی فرصت های جالب طراحی و طراحی مجدد AFSC حمایت کند در حالی که نسخه تصادفی ز راه حل های انعطاف پذیری حمایت می کند که قادر به کارکرد خوب با توجه به ابهامات مرتبط با AFSC هستند.

کاربرد فرمولاسیون مدل با استفاده از مطالعه موردی زنجیره فرآوری چغندر قند در هلند نشان داده شده است. نتایج مطالعه موردی نشان می دهد که مجال هایی برای بهبود زنجیره تأمین با استفاده از فرآوری نامتمرکزتر وجود دارد که نشان دهنده آنست که فرآوری نامتمرکز یا پیش پردازش نامتمرکز، پیکربندی های زنجیره تأمین بالقوه جالبی در زمینه صنعت آگرو فود هستند. به علاوه، حساسیت محدود پیکربندی زنجیره تأمین بهینه به جمع آوری داده های فضایی در سطح شهری یا سطح منطقه برای تحلیل آینده جالب است. هر چند جمع آوری محدود منجر به نتایج تفصیلی تر می شود، اثر مثبت جمع آوری روی زمان اجرای مدل و تلاش در ارتباط با داده های تفصیلی را می توان با استفاده از داده های گردآوری شده برای مطالعات طراحی زنجیره تأمین استراتژیک در صنعت آگرو فود تعدیل کرد. به صراحت می توان گفت شمول تصمیمات برداشت در طراحی زنجیره تأمین در اصل برای آن AFSC هایی مهم است که در آن ها محصول برداشت مورد انتظار تفاوت های بیشتری بین وقفه های زمانی نشان داده است. اهمیت این مطلب زمانی بیشتر می شود که این محصولات به دلیل شرایط آب و هوایی دچار ابهامات معینی شوند. در AFSC هایی که محصول برداشت پیش بینی شده شان مشخص است و بین وقفه های زمانی خیلی تغییری نمی کند، رویکرد غیر مستقیم تر با در نظر گرفتن مقادیر پارامترها به صورت غیر مستقیم کافی است، و لازم نیست مدلسازی تصمیمات برداشت به طور صریح در نظر گرفته شوند.

مدل حاضر با جایگزین تصادفی خود انکان بهینه سازی زنجیره تأمین انواع AFSC ها را می دهد. این مدل برای جریان های پیشین و معکوس کالاهای فصلی و فاسد شونده همساز است. فاسد شوندگی را می توان در قالب رده های کیفیت مجزا یا در قالب محدودیت های طول عمر خارج از قفسه مشارکت داد. در موردی که AFSC ها با کالاهای بسیار فاسد شونده سر و کار دارند، وقفه های زمانی تفصیلی تر لازمند، نه وقفه هایی که در مورد فعلی استفاده شده اند و بهینه سازی یکپارچه تصمیمات موجودی و طراحی برای آن ها فراخوانی شده است. در عوض ابهامات متفاوت می

توانند نقشی داشته باشند و اهمیت نسخه تصادفی مدل پیشنهادی را افزایش دهند. این می تواند منجر به موضوعاتی در رابطه با سایر مدل و زمان اجرا شود. از اینرو رویکرد یکپارچه استفاده شده در این کار را می توان با استفاده از دیگر تکنیک های راه حل و مدلسازی بسط داد تا امکان کار با مطالعات موردی با اندازه بزرگتر فراهم شود. به علاوه روش هایی برای تسهیل پیاده سازی و استفاده از این تکنیک ها در صنعت آگرو فودت شایان توجهند.

References

- Ahumada, O., Villalobos, J.R., 2009. Application of planning models in the agri-food supply chain: A review. *European Journal of Operational Research* 196, 1–20.
- Akkerman, R., Farahani, P., Grunow, M., 2010. Quality, safety and sustainability in food distribution: a review of quantitative operations management approaches and challenges. *OR Spectrum* 32, 863–904.
- Amorim, P., Meyr, H., Almeder, C., Almada-Lobo, B., 2013. Managing perishability in production-distribution planning: A discussion and review. *Flexible Services and Manufacturing Journal* 25, 389–413.
- Aramyan, L.H., Lansink, A., van der Vorst, J., van Kooten, O., 2007. Performance measurement in agri-food supply chains: a case study. *Supply Chain Management-an International Journal* 12, 304–315.
- Asadi, M., 2006. *Beet-Sugar Handbook*. John Wiley & Sons.
- Ba, B.H., Prins, C., Prodron, C., 2016. Models for optimization and performance evaluation of biomass supply chains: An Operations Research perspective. *Renewable Energy* 87, 977–989.
- Banasik, A., Kanellopoulos, A., Claassen, G., Bloemhof-Ruwaard, J.M., van der Vorst, J.G., 2017. Closing loops in agricultural supply chains using multi-objective optimization: A case study of an industrial mushroom supply chain. *International Journal of Production Economics* 183, 409–420.
- Bourlakis, M.A., Weightman, P.W.H., 2004. *Food Supply Chain Management*. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Bruins, M.E., Sanders, J.P.M., 2012. Small-scale processing of biomass for biorefinery. *Biofuels Bioproducts & Biorefining-Biofr* 6, 135–145.
- CBS, 2014. Centraal Bureau voor de Statistiek; Landbouw; gewassen, dieren en grondgebruik naar gemeente. <http://statline.cbs.nl/>, access date 28-10-2015.
- De Meyer, A., Cattrysse, D., Rasinmäki, J., Van Orshoven, J., 2014. Methods to optimise the design and management of biomass-for-bioenergy supply chains: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 31, 657–670.
- ECSIP Consortium, 2016. *The Competitive Position of the European Food and Drink Industry: Final Report*. European Competitiveness and Sustainable Industrial Policy Consortium. European Commission.
- van Elzakker, M.A.H., Zondervan, E., Raikar, N.B., Hoogland, H., Grossmann, I.E., 2014. Optimizing the tactical planning in the Fast Moving Consumer Goods industry considering shelf-life restrictions. *Computers & Chemical Engineering* 66, 98–109.

- EU, 2013. Regulation No 1308 of the European Parliament and of the Council of 17 Dec 2013 establishing a common organisation of the markets in agricultural products. http://ec.europa.eu/agriculture/sugar/index_en.htm, -access date 25-08-2016-.
- van der Goot, A.J., Pelgrom, P.J.M., Berghout, J.A.M., Geerts, M.E.J., Jankowiak, L., Hardt, N.A., Keijer, J., Schutyser, M.A.I., Nikiforidis, C.V., Boom, R.M., 2016. Concepts for further sustainable production of foods. *Journal of Food Engineering* 168, 42–51.
- Govindan, K., Fattahi, M., Keyvanshokoh, E., 2017. Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions. *European Journal of Operational Research* 263, 108–141.
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., van Otterdijk, R., Meybeck, A., 2011. Global food losses and food waste: extent, causes and prevention. Technical Report. FAO, Rome.
- Jonkman, J., Bloemhof, J.M., van der Vorst, J.G.A.J., van der Padt, A., 2017. Selecting food process designs from a supply chain perspective. *Journal of Food Engineering* 195, 52–60.
- Kang, K., Wang, X., Ma, Y., 2017. A collection-distribution center location and allocation optimization model in closed-loop supply chain for chinese beer industry. *Mathematical Problems in Engineering* 2017.
- de Keizer, M., Akkerman, R., Grunow, M., Bloemhof, J.M., Haijema, R., van der Vorst, J.G.A.J., 2017. Logistics network design for perishable products with heterogeneous quality decay. *European Journal of Operational Research* 262, 535–549.
- de Keizer, M., Haijema, R., Bloemhof, J.M., van der Vorst, J.G.A.J., 2015a. Hybrid optimization and simulation to design a logistics network for distributing perishable products. *Computers & Industrial Engineering* 88, 26–38.
- de Keizer, M., van der Vorst, J.G.A.J., Bloemhof, J.M., Haijema, R., 2015b. Floricultural supply chain network design and control: industry needs and modelling challenges. *Journal on Chain and Network Science* 15, 61–81.
- Klenk, I., Landquist, B., de Imana, O.R., 2012. The Product Carbon Footprint of EU beet sugar (Part I). *Sugar Industry-Zuckerindustrie* 137, 169–177.
- Kolfschoten, R.C., Bruins, M.E., Sanders, J.P.M., 2014. Opportunities for small-scale biorefinery for production of sugar and ethanol in the Netherlands. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 8, 475–486.
- Kusumastuti, R.D., van Donk, D.P., Teunter, R., 2016. Crop-related harvesting and processing planning: a review. *International Journal of Production Economics* 174, 76–92.
- Lucas, M.T., Chhajed, D., 2004. Applications of Location Analysis in Agriculture: A Survey. *The Journal of the Operational Research Society* 55, 561–578.
- Mandryk, M., Reidsma, P., Kanellopoulos, A., Groot, J.C.J., van Ittersum, M.K., 2014. The role of farmers' objectives in current farm practices and adaptation preferences: a case study in flevoland, the netherlands. *Regional Environmental Change* 14, 1463–1478.
- Mavrotas, G., 2009. Effective implementation of the ϵ -constraint method in Multi-Objective Mathematical Programming problems. *Applied Mathematics and Computation* 213, 455–465.
- Melo, M.T., Nickel, S., Saldanha-da Gama, F., 2009. Facility location and supply chain management: A review. *European Journal of Operational Research* 196, 401–412.
- Mota, B., Gomes, M.I., Carvalho, A., Barbosa-Póvoa, A.P., 2018. Sustainable supply chains: An integrated modeling approach under uncertainty. *Omega* 77, 32–57.
- Pahl, J., Voß, S., 2014. Integrating deterioration and lifetime constraints in production and supply chain planning: A survey. *European Journal of Operational Research* 238, 654–674.
- Perrot, N., De Vries, H., Lutton, E., van Mil, H.G.J., Donner, M., Tonda, A., Martin, S., Alvarez, I., Bourguine, P., van der Linden, E., Axelos, M.A.V., 2016. Some remarks on computational approaches towards sustainable complex agri-food systems. *Trends in Food Science & Technology* 48, 88–101.
- Rajurkar, S.W., Jain, R., 2011. Food supply chain management: review, classification and analysis of literature. *International Journal of Integrated Supply Management* 6, 33–72.
- Rong, A., Akkerman, R., Grunow, M., 2011. An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain. *International Journal of Production Economics* 131, 421–429.
- Rosenboom, N., Boschloo, M., van der Noll, R., Tieben, B., 2013. Prijzige suiker, De prijsopbouw en

- prijontwikkeling van suiker. SEO-report nr 2013-28. SEO Economisch Onderzoek.
- Shukla, M., Jharkharia, S., 2013. Agrifresh produce supply chain management: a state of the art literature review. *International Journal of Operations & Production Management* 33, 114–158.
- Soto-Silva, W.E., Nadal-Roig, E., González-Araya, M.C., Pla-Aragones, L.M., 2015. Operational research models applied to the fresh fruit supply chain. *European Journal of Operational Research* 251, 345–355.
- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J.M., Meuwissen, M.P.M., van der Vorst, J.G.A.J., 2012. A Review on Quantitative Models for Sustainable Food Logistics Management. *International Journal on Foodsystem Dynamics* 3, 136–155.
- Suiker Unie, 2011. Long-term stability of the european sugar sector, also after 2015; position paper dutch sugar sector.
- Timmermans, A.J.M., Ambuko, J., Belik, W., Huang, J., 2014. Food losses and waste in the context of sustainable food systems. Technical Report. CFS Committee on World Food Security HLPE.
- Tsolakis, N.K., Keramydas, C.A., Toka, A.K., Aidonis, D.A., Iakovou, E.T., 2014. Agrifood supply chain management: A comprehensive hierarchical decision-making framework and a critical taxonomy. *Biosystems Engineering* 120, 47–64.
- UN General Assembly, 2015. Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. Technical Report. A/RES/70/1, 21 October.
- van der Vorst, J.G.A.J., Beulens, A.J.M., 2002. Identifying sources of uncertainty to generate supply chain redesign strategies. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 32, 409–430.
- van der Vorst, J.G.A.J., Tromp, S.O., van der Zee, D.J., 2009. Simulation modelling for food supply chain redesign; integrated decision making on product quality, sustainability and logistics. *International Journal of Production Research* 47, 6611–6631.