

ارائه ی مدل چند هدفه حمل و نقل زنجیره تامین سبز شرکت خودرو سازی

نیلوفر پاک^۱، نسیم نهاوندی^۲، بهرام باقری^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه تربیت مدرس؛ n.pak@modares.ac.ir

^۲ نویسنده مسئول؛ استاد، دانشکده مهندسی صنایع و سیستمها، دانشگاه تربیت مدرس؛

n_nahavandi@modares.ac.ir

^۳ دانشجوی دکتری دانشگاه تربیت مدرس؛ bahram.bagheri@modares.ac.ir

چکیده

در سالیان اخیر با توجه به افزایش آگاهی جوامع در ارتباط با مسایل زیست محیطی و وضع مقررات و الزامات زیست محیطی، شرکتها به سمتی حرکت کردند که در راستای حفظ و جذب مشتریان، محصولی با قیمت پایین تر و کیفیت بهتر ارائه دهند و علاوه بر اهداف اقتصادی به اهداف زیست محیطی نیز توجه نمایند. از این رو ارائه مدل زنجیره تامین که بتواند اهداف اقتصادی و زیست محیطی را توأمان در نظر بگیرد بسیار حائز اهمیت می باشد. در این مقاله، شبکه زنجیره تامین مستقیم سبز، برای یک شرکت خودروسازی ارائه شده است که این شبکه شامل پنج سطح تامین کنندگان، انبارهای اولیه، کارخانه های تولیدی، توزیع کنندگان و مراکز فروش است. اهداف این مدل کمینه سازی کل هزینه احدث، حمل و نقل و میزان انتشار کربن دی اکسید در حین حمل و نقل شبکه رو به جلو در تمامی سطوح است. مدل پیشنهادی به کمک روش وزنی که یکی از روش های حل مسائل چند هدفه است، حل و مرز پارتوی مدل نیز ترسیم شده است. در پایان مقاله نیز از منظر اقتصادی سبز شدن سیستم حمل و نقل، بررسی شده است که برای کاهش میزان کربن دی اکسید آزاد شده به چه میزان شرکت خودروسازی متحمل هزینه خواهد شد. تا مدیران برحسب اولویتهای سازمان خود که می تواند اولویتهای محیط زیستی یا سودآوری باشد بهترین جواب را از میان مرز پاراتو انتخاب نمایند.

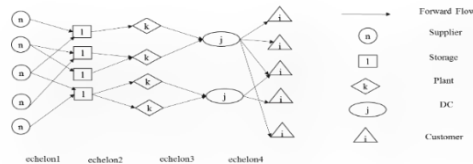
کلمات کلیدی: زنجیره تامین سبز، حمل و نقل، روش وزنی

1- مقدمه و مرور ادبیات

زنجیره تامین مستقیم سبز شامل تمام فعالیت هایی می باشد که به واسطه آنها مواد خام به محصولات نهایی تبدیل می شوند. مدیران در تلاشند که عملکرد زنجیره های تامین مستقیم را در زمینه ی مدیریت تقاضا بهبود دهند و علاوه بر آن مسایل زیست محیطی را در جریان مستقیم زنجیره در نظر بگیرند. وانگ و همکارانش، مدل زنجیره تامین سبز را به روش محدودیت نرمال شده حل کردند [1]. عبدالله و همکارانش، یک مدل برنامه ریزی مختلط برای زنجیره ی تامین حساس به کربن توسعه داده اند که انتشار کربن را حداقل میکند. [2]. پیشوایی و رزمی یک مدل برنامه ریزی ریاضی فازی برای طراحی شبکه ی تولید کننده سوزن و سرنگ ارائه کردند، مدل به روش محدودیت اپسیلون حل شد [3]. در سال ۱۳۹۱، یک مدل برنامه ریزی آرمانی برای زنجیره تامین سبز شرکت «شیشه ی ایمنی به نور طراحی کردند» [4]. ژانگ و همکارانش از نظریه ی بازیها برای مطالعه چهار مدل زنجیره تامین سبز استفاده کردند [5]. بشیری یک روش نوین حل مستقیم برای طراحی یک شبکه لجستیک سه سطحی، ارائه کرده است [6]. رمضانی و همکاران از روش فازی برای طراحی مدل زنجیره تامین سبز استفاده کردند [7]. در سال 2015 جریان بهینه ای از محصولات و تعداد کامیون های کارخانه تولید بویلر ارائه شد [8]. در سال ۲۰۱۷ مدل زنجیره تامین سبز کارخانه وسایل الکترونیکی مدل سازی شد. [9]. صادقی راد و نهاوندی در سال ۲۰۱۸ یک مدل برنامه ریزی زنجیره تامین سبز به روش وزنی حل کردند. [10] چنانچه در پیشینه تحقیق بیان شد، تمرکز عمده مقالات در زمینه زنجیره تامین سبز در واحدهای تولیدی در صنایع کوچک بوده است. در زمینه زنجیره تامین سبز شرکت های خودرو سازی مطالعات اندکی انجام شده است. بیشتر مدل های ارائه شده تک محصوله بوده و لذا طراحی مدل چند محصول می تواند زمینه مناسبتری برای پژوهش باشد که در این تحقیق ارائه شده است. از سوی دیگر، بسیاری از تحقیقات، مدل ریاضی بدون مطالعه موردی را ارائه دادند در بخشهای بعد مدل ریاضی، روش حل مدل و نتایج حل به طور کامل تشریح شده است.

2- تعریف مساله:

در این مقاله یک مدل دوهدفه زنجیره تامین سبز رو به جلو، پنج سطحی و چند محصوله برای حمل و نقل شرکت خودرو سازی مورد مطالعه طراحی شده است که قادر است هر دو هدف اقتصادی و زیست محیطی را در نظر بگیرد. هدف اول مساله حداقل کردن هزینه حمل و نقل و احداث و هدف دوم آن حداقل کردن میزان انتشار کربن دی اکسید در فرایند حمل و نقل در کل سطوح زنجیره تامین است. شبکه زنجیره تامین پنج سطحی در شکل ۱ نشان داده شده است. به ترتیب سطح یک تامین کنندگان مواد خام هستند که مواد خام از آن جا به انبارها منتقل می شوند. سطح دو انبار ذخیره سازی مواد خام هستند که مواد خام از آن جا جهت تولید محصولات به کارخانه های تولیدی منتقل می شوند. سطح سه مربوط به کارخانه های تولیدی می باشد که محصولات نهایی در آن جا تولید و به مراکز توزیع منتقل می شوند. سطح چهارم مراکز توزیع میباشند که محصولات نهایی از مراکز توزیع برای فروش محصولات نهایی به مشتریان در سطح پنجم منتقل می شوند. در هر سطح تعدادی مکان کاندید وجود دارد و در هر سطح یک عملیات انجام میشود.



شکل ۱: شبکه زنجیره تامین سبز

۳- مدل پیشنهادی

۳.۱- مفروضات مدل:

هر محصولی که تولید می شود نیازمند مواد خام از پیش تعیین شده است. هر تامین کننده می تواند فقط بعضی از قطعات را تولید و تامین نماید. مواد خام و قطعات توسط پالتهایی که ظرفیتشان از قبل تعیین شده است، منتقل می شوند. هزینه حمل و نقل مواد خام به ازای هر کیلومتر توسط وسایل نقلیه بین تامین کنندگان تا انبارهای موقت اولیه و از انبارهای موقت تا کارخانه، از قبل تعیین شده می باشد و برحسب نوع وسایل حمل و نقل متفاوت است. هزینه توزیع (حمل و نقل محصول) بین واحدهای توزیع تا مشتریان نیز از قبل تعیین شده است. هزینه ثابت احداث یک واحد جدید توزیع، یک انبار موقت و یک کارخانه جدید متفاوت و مشخص است. وسیله نقلیه مورد نیاز برای جابه جایی مواد خام و محصول با توجه به ظرفیتشان متفاوت است. هزینه جابه جایی مواد خام و محصولات بین تسهیلات مختلف به ازای هر کیلومتر، ثابت است. هر محصول و هر ماده اولیه ظرفیت مشخص و از قبل تعیین شده ای دارد. ۵ درصد از قطعات نیاز به رفع عیب و نقص دارند. ۲ درصد از محصولات نیاز به رفع عیب و نقص دارند. افق برنامه ریزی ۲۰ ساله در نظر گرفته شده است (به این معنی است که از یک تسهیل ۲۰ سال بهره برداری شود). کلیه پارامترها به شکل ماهیانه محاسبه و وارد مدل میشوند. به منظور ایجاد رقابت بین تامین کنندگان، حداقل به اندازه ی ده درصد از هر تامین کننده، ماده اولیه (قطعه) دریافت میشود.

۳.۲- اندیس های مدل:

n : شمارنده تامین کنندگان مواد خام ($n = 1, 2, \dots, N$)؛ n' : شمارنده تامین کنندگانی غیر از تامین کننده ۱ ($n' = 1, 2, \dots, N'$)؛ n : شمارنده انبار مواد خام ($n = 1, 2, \dots, L$)؛ k : شمارنده کارخانه ها ($k = 1, 2, \dots, K$)؛ k' : شمارنده کارخانه هایی غیر از کارخانه q ($k' = 1, 2, \dots, K'$)؛

شمارنده وسایل نقلیه محصولات (q = 1,2,...,Q): z : شمارنده مراکز توزیع (j = 1,2,...,J): i :
شمارنده مشتریان (I = 1,2,...,I): w : شمارنده مواد خام (w = 1,2,...,W): m : شمارنده
محصولات (m = 1,2,...,M): t : شمارنده وسایل نقلیه مواد خام از تامین کننده به انبار، (t = 1,2,...,T): t' : شمارنده وسایل نقلیه مواد خام از انبار به کارخانه (t' = 1,2,...,T)

۳.۳ پارامترهای مدل:

$Cap1_{nl}$: ظرفیت حمل و نقل مواد خام نوع t برای انتقال مواد خام از تامین کننده n به انبار اولیه 1 (براساس اندازه پالت استاندارد)، $Cap2_{t'lk}$: ظرفیت حمل و نقل مواد خام نوع t' برای انتقال مواد خام از انبار اولیه 1 به کارخانه k (براساس اندازه پالت استاندارد)، $Cap3_q$: ظرفیت کامیون های نوع q، V_w : حجم (ظرفیت) مواد خام w (برحسب اندازه ی پالت های استاندارد)، $TC1_{nl}$: هزینه ی حمل و نقل هر km از وسیله ی نقلیه ی نوع t برای انتقال مواد خام از تامین کننده n به انبار اولیه 1، $TC2_{t'lk}$: هزینه ی حمل و نقل هر km از وسیله ی نقلیه ی نوع t' برای انتقال مواد خام از انبار اولیه 1 به کارخانه k، $TC3_q$: هزینه ی حمل و نقل هر km از وسیله ی نقلیه ی نوع q، $CC1_l$: هزینه ی احداث یک انبار موقت 1 جدید، $CC2_j$: هزینه ی احداث یک مرکز توزیع j جدید، $CC3_k$: هزینه ی احداث یک کارخانه k جدید، $D1_{nl}$: فاصله بین تامین کننده ی n و انبار موقت 1، $D2_{lk}$: فاصله بین انبار موقت 1 و کارخانه ی k، $D3_{kj}$: فاصله بین کارخانه ی k و مرکز توزیع j، $D4_{ji}$: فاصله بین کارخانه ی i و مرکز توزیع j، D_{mi} : مقدار محصول m مورد نیاز برای ارایه به مشتری i، $Rate_{wm}$: نرخ مصرف ماده ی w در تولید محصول m، CO_2^{nlt} : تولید CO2 شده در حمل و نقل نوع t تامین کننده n به انبار اولیه 1، $CO_2^{lkt'}$: تولید شده در حمل و نقل نوع t' انبار اولیه 1 به کارخانه k، CO_2^{kjg} : تولید شده در حمل و نقل نوع q از کارخانه ی k به مرکز توزیع CO2، CO_2^{jig} : تولید شده در حمل و نقل نوع q از مرکز توزیع z به مشتری i، $Cap1_{nw}$: ظرفیت تامین کننده n، $Cap2_{lw}$: ظرفیت مراکز کاندیدای انبار موقت 1، $Cap3_{jm}$: ظرفیت مراکز کاندیدای توزیع z، ε : نرخ انتقال مواد خام به سطوح بعدی زنجیره تامین، با در نظر گرفتن 5 درصد (0.95)، $waste$: هاست، σ : نرخ انتقال محصولات به سطوح بعدی زنجیره تامین، با در نظر گرفتن 2 درصد (0.98)، θ : 10 درصد به عنوان رقابت بین تامین کنندگان در نظر گرفته شده است.

۴.۳ متغیر های تصمیم مدل:

$X1_{wnl}$: مقدار ماده ی خام w منتقل شده از تامین کننده ی n به انبار اولیه 1، $X2_{wlk}$: مقدار ماده ی خام w منتقل شده از انبار مواد خام 1 به کارخانه ی k، $X3_{mkj}$: مقدار محصول m منتقل شده از کارخانه ی k به مرکز توزیع j، $X4_{mji}$: مقدار محصول m منتقل شده از مراکز توزیع z به مشتری i، $N1_{nl}$: تعداد وسایل نقلیه ی t که از تامین کننده ی n به انبار مواد خام 1 منتقل شده اند، $N2_{t'lk}$: تعداد وسایل نقلیه ی t' که از انبار مواد خام 1 به کارخانه ی k منتقل شده اند، $N3_{qkj}$: تعداد وسایل نقلیه ی q که بین کارخانه ی k و مرکز توزیع j منتقل شده اند، $N4_{qji}$: تعداد وسایل نقلیه ی q که بین مراکز توزیع j و مشتری i منتقل شده اند، $Y1_l$: احداث یا عدم احداث انبار جدید 1، $Y2_j$: احداث یا عدم احداث مرکز توزیع جدید j، $Y3_k$: احداث یا عدم احداث کارخانه جدید k، δ_{wm} : تامین یا عدم تامین قطعه قطعات توسط تامین کننده

۵.۳ مدل

$$N3_{qkj} \times D3_{kj} \times TC3_q + \sum_j \sum_i \sum_q N4_{qji} \times D4_{ji} \times TC3_q + \sum_l Y1_l \times CC1_l + \sum_k Y3_k \times CC3_k + \sum_j Y2_j \times CC2_j$$

$$Min \sum_n \sum_l \sum_w N1_{nl} \times CO_2^{nlt} \times D1_{nl} + \sum_l \sum_k \sum_w N2_{t'lk} \times CO_2^{lkt'} \times D2_{lk} + \sum_k \sum_j \sum_m N3_{qkj} \times CO_2^{kjg} \times D3_{kj} + \sum_j \sum_i$$

$$\sum_j X 4_{mji} \geq D_{mi} \quad \forall i, m \quad (1)$$

$$\sigma \times \left(\sum_k X 3_{mkj} \right) \geq \sum_i X 4_{mji} \quad \forall j, m \quad (2)$$

$$\varepsilon \times \left(\sum_l X 2_{wlk} \right) \geq \sum_m \sum_j X 3_{mkj} \times Rate_{wm} \quad \forall w, k \quad (3)$$

$$\sum_n X 1_{wnl} \geq \sum_k X 2_{wlk} \quad \forall l, w \quad (4)$$

$$\sum_l X 1_{wnl} \leq \delta_{wn} \times Cap 1_{tnl} \quad \forall n, w \quad (5)$$

$$\sum_l X 1_{wnl} - \left(\theta \times \sum_n \sum_l X 1_{wnl} \right) \geq - \left(\theta \times \sum_n \sum_l Cap 1_{tnl} \right) \times (1 - \delta_{wn}) \quad \forall n, w \quad (6)$$

$$\sum_t N 1_{tnl} \times Cap 1_{tnl} \geq \sum_w X 1_{wnl} \times V_w \quad \forall n, l \quad (7)$$

$$\sum_t N 2_{tlk} \times Cap 2_{t'lk} \geq \sum_w X 2_{wlk} \times V_w \quad \forall l, k \quad (8)$$

$$\sum_q N 3_{qkj} \times Cap 3_q \geq \sum_m X 3_{mkj} \quad \forall k, j \quad (9)$$

$$\sum_q N 4_{qji} \times Cap 3_q \geq \sum_m X 4_{mji} \quad \forall j, i \quad (10)$$

$$\sum_k X 2_{wlk} \leq Cap 2_{lw} \times Y 1_l \quad \forall l, w \quad (11)$$

$$\sum_i X 4_{mji} \leq Cap 3_{jm} \times Y 2_j \quad \forall j, m \quad (12)$$

$$\sum_j X 3_{mkj} \leq Cap 4_{km} \times Y 3_k \quad \forall k, m \quad (13)$$

$$\sum_l Y 1_l \leq 4 \quad (14)$$

$$\sum_j Y 2_j \leq 4 \quad (15)$$

$$\sum_k Y 3_k \leq 4 \quad (16)$$

$$X 1_{wnl}, X 2_{wlk}, X 3_{mkj}, X 4_{mji}, N 1_{tnl}, N 2_{t'lk}, N 3_{qkj} \geq 0 \quad \forall l, m, j, i, k, t, t', q \quad (17)$$

$$Y 1_l, Y 2_j, Y 3_k, \delta_{wn} \in [0, 1] \quad \forall j, k, n, l \quad (18)$$

6.3- محدودیت های مدل:

محدودیت شماره (۱) بیان می کند که مقدار محصولی که از مراکز توزیع به واحدهای فروش منتقل می شود. بایستی به اندازه ی نیاز مراکز فروش باشد. محدودیت (۲) یک محدودیت تعادلی جریان ورودی و خروجی بوده و نشان می دهد که هر مرکز توزیع حداکثر به اندازه ی ظرفیتش محصول به مشتریان ارسال می نماید. محدودیت محدودیت شماره (۳) نشان می دهد که مقدار ماده خام ورودی به هر کارخانه با در نظر گرفتن نرخ تلف شدن باید بیشتر از محصول خروجی از آن باشد. محدودیت شماره (۴) تعادل ورودی و خروجی مواد خام را برای انبار مواد خام تضمین می کنند. محدودیت های شماره (۵) و (۶) بیان می کنند که اگر تامین کنندگان مقداری از ماده خام w را تامین کنند این مقدار باید بیش از ۱۰ درصد کل مقدار ماده خام w باشد (محدودیت حداقل ظرفیت). محدودیت های (۷)، (۸)، (۹) و (۱۰) مربوط به ظرفیت وسایل حمل و نقل مواد خام و محصولات می باشد و حداقل ظرفیت وسایل حمل و نقل با این محدودیت ها اطمینان داده می شود. محدودیت های (۱۱)، (۱۲)، و (۱۳) محدودیت های مکان یابی تسهیلات می باشند. محدودیت های (۱۴)، (۱۵)، و (۱۶) تعداد مراکز توزیع، کارخانه ها و انبار های موقتی که باز میشوند را محدود می کنند. محدودیت های (۱۷) و (۱۸) محدودیت های منطقی مدل هستند.

۴- حل مدل پیشنهادی :

پارامترهای مدل در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول (۱): پارامترهای مدل دوهدفه زنجیره تامین سبز

پارامتر	بازه	پارامتر	بازه
CO_2^{kjq}, CO_2^{jiq}	[1,0.7]	$D1_{nl}, D2_{lk}, D3_{kj}, D4_{ji}$	$U (20,100)$
CO_2^{lkt}	[1,0.2]	$CC1_l$	$U (25*10^6, 30*10^6)$
CO_2^{nlt}	[0.9,0.5,0.2]	$CC2_j$	$U (35*10^6, 46*10^6)$
$Cap1_{nw}, Cap4_{km}, Cap2_{lw}, Cap3_{jm}$	بر طبق نرخ استفاده از ماده خام و میزان تقاضا در هر مساله قابل تعیین است	$CC3_k$	$U (380*10^6, 460*10^6)$
حداقل و حداکثر تعداد کارخانه، مراکز توزیع، انبار اولیه باز شده	(2,4)	$TC1_{tnl}$	[10000,7000,5000]
$Rate_{wm}$	$U (0,3)$	$TC2_{t'lk}$	[7000,5000]
Dm_{1i}	$U (30,120)$	$TC3_q$	[11000,10000]
Dm_{2i}	$U (90,180)$	V_w	$U (0.125,0.5)$
Dm_{3i}	$U (60,150)$	$Cap1_{tnl}$	[4,16,32]
$Cap3_q$	[6,8]	$Cap2_{t'lk}$	[4,18]

داده سه نمونه مساله به شرح جدول ۲ میباشد:

جدول ۲: نمونه مسائل

مساله	کنترل	تولید	کارخانه	تولید	تولید	محصول	تولید
5	2	1	2	2	2	8	1
		5					
5	2	5	1	1	1	3	2
		0	0	0	0	0	
8	2	6	1	1	1	4	3
		0	5	5	5	0	

روش وزنی یکی از روشهای حل مسایل چند هدفه است، به منظور جمع دو تابع هدف ناسازگار و تبدیل آن دو هدف به یک هدف باید اهداف نرمال شوند. نحوه ی نرمال سازی در روش وزنی به قرار زیر می باشد:

$$(۲۰) \quad f1' : \text{Min} \frac{w * Z1}{f1^i - f1'} + \frac{(1-w) * Z2}{f2^i - f2'}$$

شود (بدترین مقدار تابع هدف $Z1$) $f2'$: مقدار تابع هدف $Z2$ وقتی تابع هدف بهینه شود (بدترین مقدار تابع هدف $Z2$) $f1^i$: مقدار بهینه تابع هدف $Z1$ بدون در نظر گرفتن تابع هدف ۲ (بهترین مقدار تابع هدف $Z1$) $f2^i$: مقدار بهینه تابع هدف $Z2$ بدون در نظر گرفتن تابع هدف ۱. (بهترین مقدار تابع هدف $Z2$) w : وزن توابع هدف که عددی بین صفر و یک می باشد. [11] مدل ریاضی پیشنهادی به وسیله نرم افزار GAMS با حل کننده سیپلکس و تمامی آزمایشات عددی بر روی کامپیوتری با مشخصات Intel core i3, 2.40 GH, 4 GB Ram انجام شده است. بدین ترتیب مرز پاراتویی از مجموعه جواب مدل ترسیم شده و مجموعه جواب پارتو در اختیار مدیران سازمان قرار میگیرد تا در نهایت برحسب

اولویت‌های سازمان خود بهترین جواب را انتخاب نمایند.

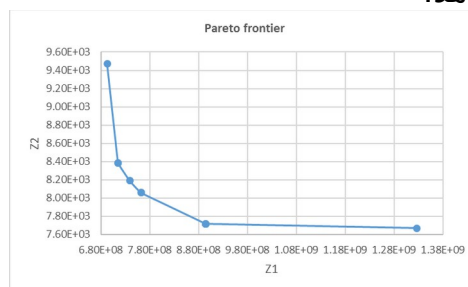
۵- نتایج حل مدل:

نتایج مربوط به حل هر مساله در جدول ۳ ارائه شده است ستون دوم این جدول وزن های هر یک از توابع هدف را نشان می دهد. شش ترکیب وزنی برای حل هر کدام از این نمونه مسائل در نظر گرفته شده است در ستون سوم مجموعه جواب های پارتو بر اساس وزن های مختلف نمایش داده شده است. ستون آخر جدول زمان حل را برای هر نمونه مساله گزارش می دهد. چنانچه مشاهده میشود با افزایش ابعاد نمونه مسائل، زمان حل بیشتر میشود.

جدول ۳: نتایج مدل

شماره مساله	وزن توابع هدف		مقادیر توابع هدف (جواب های بهینه پارتو)		زمان حل دقیق مسائل
	W1	W2	Z1 (ریال)	Z2 (گرم)	
1	0	1	1.33E+09	7.67E+03	00:01:00
	0.2	0.8	8.95E+08	7.72E+03	
	0.4	0.6	8.95E+08	7.72E+03	
	0.6	0.4	7.62E+08	8.06E+03	
	0.8	0.2	7.15E+08	8.38E+03	
	1	0	6.93E+08	9.47E+03	
2	0	1	1.9556E+10	5.6872E+05	00:30:00
	0.2	0.8	7.9546E+09	5.6916E+05	
	0.4	0.6	7.6627E+09	5.7084E+05	
	0.6	0.4	7.6625E+09	5.7087E+05	
	0.8	0.2	7.3994E+09	5.7450E+05	
	1	0	6.2220E+09	7.1946E+05	
3	0	1	4.1345E+10	1.0927E+07	01:55:00
	0.2	0.8	3.7681E+10	1.1183E+07	
	0.4	0.6	3.2824E+10	1.1664E+07	
	0.6	0.4	3.2824E+10	1.1664E+07	
	0.8	0.2	3.0258E+10	1.2376E+07	
	1	0	3.0252E+10	1.2377E+07	

مرز پرتو مساله 1 در شکل ۳ رسم شده است که رقابت بین توابع هدف اقتصادی و زیست محیطی را نشان میدهد:



شکل ۲: مرز پارتو مدل دو هدفه برای مساله شماره ۱

جدول ۴: بررسی اقتصادی سبز شدن سیستم حمل و نقل

شماره مساله	در نظر گرفتن تابع هدف کاهش هزینه	در نظر گرفتن تابع هدف کاهش CO2	درصد کاهش CO2 به ازای افزایش هزینه $f_1' - f_1$	میزان کاهش CO2 به ازای هرصد
-------------	----------------------------------	--------------------------------	---	-----------------------------

میلیون تومان (گرم)				هزینه f_1'	مسئله
2842	19 %	$f_1' = 1.33E+09$	$f_1' = 6.93E+08$	(ریال)	مسئله 1
		$f_2' = 7.67E+03$	$f_2' = 9.47E+03$	CO2 (گرم)	
1121 0	21 %	$f_1' = 1.96E+10$	$f_1' = 6.22E+09$	(ریال)	مسئله 2
		$f_2' = 5.69E+05$	$f_2' = 7.19E+05$	CO2 (گرم)	
1363 63	11 %	$f_1' = 4.13E+10$	$f_1' = 3.03E+10$	(ریال)	مسئله 3
		$f_2' = 1.09E+07$	$f_2' = 1.24E+07$	CO2 (گرم)	

در جدول ۴ سبز شدن حمل و نقل را از نظر اقتصادی بررسی می کند. در مساله شماره ۱، با در نظر گرفتن تابع هدف دوم، به ازای کاهش میزان کربن دی اکسید به اندازه ۱۹٪، میزان هزینه به مقدار $6.34E+8$ تومان افزایش یافته است. در مساله شماره ۲، به ازای کاهش میزان کربن دی اکسید به اندازه ۲۱٪، میزان هزینه به مقدار $13.38E+9$ تومان افزایش یافته است. و بالاخره در مساله شماره ۳، به ازای کاهش میزان کربن دی اکسید به اندازه ۱۱٪، میزان هزینه به مقدار $1.11E+10$ تومان افزایش یافته است. هم چنین به ازای افزایش هر صد میلیون تومان در هزینه ها به ترتیب ۲۸۴۲ گرم کاهش کربن در مساله ۱، ۱۱۲۱۰ گرم کاهش کربن در مساله ۲ و در مساله ۳، ۱۳۶۳۶۳ گرم کاهش کربن دی اکسید را شاهد خواهیم بود.

۶- نتیجه گیری و پیشنهاد برای تحقیقات آتی:

در این مقاله مدل دوهدفه زنجیره تامین سبز پنج سطحی برای شرکت خودرو سازی طراحی شده است که هر دو هدف اقتصادی و زیست محیطی در آن در نظر گرفته شده است، که این شبکه شامل سطوح تامین کنندگان، انبار های اولیه، کارخانه های تولیدی، توزیع کنندگان و مراکز فروش است. و هدف اول مساله حداقل کردن هزینه حمل و نقل و احداث و هدف دوم آن حداقل کردن میزان انتشار کربن دی اکسید در فرآیند حمل و نقل در کل سطوح زنجیره تامین بوده است. مدل پیشنهادی به کمک روش وزنی که یکی از روش های حل مسائل چند هدفه است، حل شده و به منظور نمایش کاربرد مدل ریاضی سه مثال در نرم افزار گمز اجرا شده است و مرز پارتوی مدل نیز ترسیم شده است. مقاله از منظر اقتصادی سبز شدن سیستم حمل و نقل، بررسی کرده است که با کاهش حداکثر درصد در میزان کربن دی اکسید کربن آزاد شده به چه میزان شرکت خودرو سازی متحمل هزینه خواهد شد. تا در نهایت مدیران برحسب اولویت های سازمان خود که می تواند اولویت های محیط زیستی یا سودآوری باشد بهترین جواب را از میان مرز پاراتو انتخاب نمایند. و از این منظر ارائه چنین مدلی می تواند به مدیران کمک نماید تا درک بهتر و سریع تری نسبت به سیستم حمل و نقل بیرونی و درونی سازمان خود داشته باشند و از این طریق تصمیمات بهتری را جهت بهبود سازمان اتخاذ نمایند.

برای تحقیقات آتی، احتمالی در نظر گرفتن میزان تقاضا در هر دوره، غیرقطعی در نظر گرفتن پارامترهای مساله از جمله ظرفیت تسهیلات و استفاده از الگوریتم های فراابتکاری به منظور حل این مدل در ابعاد بزرگتر پیشنهاد می شود.

7- منابع

- Wang, F., Lai, X. and Shi, N., 2011. A multi-objective optimization for green supply chain network [1] design. *Decision Support Systems*, 51(2), pp.262-269
- Abdallah, T., Farhat, A., Diabat, A., Kennedy, S., 2012. Green supply chains with carbon trading [2] and environmental sourcing: Formulation and life cycle assessment *Applied Mathematical Modelling* 36, .4271–4285
- Pishvaei, M.S. and Razmi, J., 2012. Environmental supply chain network design using multi- [3] objective fuzzy mathematical programming. *Applied Mathematical Modelling*, 36(8), pp.3433-3446
- [4] خیر ابادی محسن "طراحی مدل زنجیره تامین سبز) مورد کاوی شرکت تولید شیشه ایمنی به نور). پایان نامه دوره کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس. ۱۳۹۱
- Zhang, C.T. and Liu, L.P., 2013. Research on coordination mechanism in three-level green supply [5] chain under non-cooperative game. *Applied Mathematical Modelling*, 37(5), pp.3369-3379
- [6] بشیری، مهدی؛ مهتاب شرافتی و امیر فرشباغ گرانبایه، ۱۳۹۲، رویکرد حل مستقیم برای طراحی شبکه زنجیره تامین با متغیرهای فازی، دهمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع، تهران، انجمن مهندسی صنایع ایران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
- Ramezani, M., Kimiagari, A.M., Karimi, B. and Hejazi, T.H., 2014. Closed-loop supply chain [7] network design under a fuzzy environment. *Knowledge-Based Systems*, 59, pp.108-120
- Garg, K., Kannan, D., Diabat, A. and Jha, P.C., 2015. A multi-criteria optimization approach to [8] manage environmental issues in closed loop supply chain network design. *Journal of Cleaner Production*, 100, pp.297-314
- Nurjanni, K.P., Carvalho, M.S. and Costa, L., 2017. Green supply chain design: A mathematical [9] modeling approach based on a multi-objective optimization model. *International Journal of Production Economics*, 183, pp.421-432
- Sadeghi Rad, R. and Nahavandi, N., 2018. A novel multi-objective optimization model for [10] integrated problem of green closed loop supply chain network design and quantity discount. *Journal of Cleaner Production*, 196, pp.1549-1565
- Deb, K. (2001). Multi-objective optimization using evolutionary algorithm [11]