بررسی‌های حسابداری و حسابرسی
سال یازدهم ـ شماره ۳۵ ـ بهار ۱۳۸۳
ص‌ص ۷۷ ـ ۶۳

اهمیت مسأله مسیریابی در کاهش بهای تمام‌شده محصول مطالعه موردی: شرکت ذوب آلیاژ

دکتر بابک سهرابی* ـ محمدرضا کاباران‌زاده‌قدیم **

چکیده

هـدف اصلی این مقاله بررسی اهمیت مسأله مسیریابی و تأثیر آن در کاهش بهای تمام شـده محصـول در شرکت‌ها است. این شرکت‌ها بستگی به نوع کارشان مواد اولیه و کالای خـریداری شـده را بـه انـبارها ارسـال و بعـد از مـراحل آمـاده‌سـازی آن را بـین مشـتریان (خـرده‌فروشـی‌هـا) توزیـع مـی‌کنند. بنابراین هزینه حمل و نقل رقم قابل توجهی را به خود اختصـاص مـی‌دهـد. لـذا ایـن امـر شـرکت‌ها را بر آن داشته تا با کاهش این هزینه، بهای تمـام‌شـده محصـولات خـود را تقلـیل دهـد. در ایـن مقالـه همچنین مسأله توزیع یکی از شرکت‌های بزرگ تولیدی صنعتی محصولات برنجی در ایران مورد بررسی قرار گرفته است کـه با استفاده از یکی از الگوریتم‌های هوش مصنوعی بنام (SA) نشان داده شده است که چگونه می‌توان با کاهش هزینه توزیع، قیمت بهای تمام شده محصولات را تقلیل داد.

نـتایج تحقـیق نشـان‌دهـنده آن است که شرکت ذوب آلیاژ با استفاده از الگوریتم SA توانسـته کـه تعـداد وسـیله نقلیه استفاده از خود را از ۱۵ دستگاه به ۱۲ دستگاه و همچنین مسـافت را از ۵۱۵۰ کیلومتر به ۴۱۸۰ کیلومتر و زمان طی شده را از ۱۱۰ ساعت به ۹۹/۱۶ سـاعت کـاهش دهـد کـه نتیجـتاً هـزینه‌هـای حمـل و نقـل و توزیـع این شرکت از مبلغ ۴۴۴۱۷۵۹۹ ریال به مبلغ ۳۵۸۶۳۵۶۲ ریال کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: مسأله مسیریابی، بهای تمام شده محصول، هزینه حمل و نقل، شرکت ذوب‌آلیاژ، الگوریتم SA.

---

* استادیار دانشکده مدیریت دانشگاه تهران
** دانشجوی دکتری مدیریت صنعتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

مقدمه

امروزه در دنیای تجارت، رقابت یکی از مهم‌ترین عوامل به شمار می‌آید. همه شرکت‌ها سعی بر آن دارند تا با کاهش هزینه‌ها، بهای تمام‌شده محصول خود را پایین آورند که این امر موجب کسب رضایت مشتریان و در نتیجه افزایش سوددهی می‌گردد.

حمل و نقل مواد اولیه و کالاهای خریداری شده و نهایتاً توزیع محصولات به مشتریان که تحت‌عنوان عنصر بهای تمام‌شده حمل و نقل و توزیع در محاسبه کل بهای تمام‌شده محصول نمایان می‌گردد از جمله موارد مهم در شرکت‌ها به حساب می‌آید. به‌عنوان نمونه می‌توان به فروشگاه‌های زنجیره‌ای شهروند، رفاه، اتکاء در ایران و هم‌چنین شرکت‌هایی از قبیل تسکو، سیف‌وی و ازدا[1] در انگلستان اشاره کرد.

این عنصر بهای تمام‌شده رقم قابل ملاحظه‌ای را در این قبیل شرکت‌ها به خود اختصاص می‌دهد چرا که آن‌ها کالاهای خریداری شده و یا مواد اولیه را از عرضه‌کنندگان به انبارها ارسال و بعد از مراحل آماده‌سازی آن را به مشتریان (خرده‌فروش‌ها) توزیع می‌کنند. بنابراین شرکت‌ها درصدد راه‌کارهایی جهت کاهش این عنصر می‌باشند.

بهای تمام‌شده حمل ونقل و توزیع شامل: موجودی‌ها – تجهیزات انبار – افراد – ماشین‌ها و رانندگان می‌باشد. بنابراین اگر شرکت‌ها بتوانند با طراحی مسیرهای مناسب که منجر به کاهش تعداد ماشین‌های مورد استفاده، زمان و مسافت گردد می‌توانند این عناصر بهای تمام‌شده را کاهش دهند چرا که رسیدن به یکی یا همه موارد ذکر شده در بالا می‌تواند در کاهش عناصر بهای تمام‌شده نظیر عناصر سوخت، تعمیر و نگهداری، حقوق، بیمه، استهلاک و غیره مؤثر باشد.

در قسمت بعدی اهمیت مسأله مسیریابی و نشان دادن آن از طریق اقلام بهای تمام‌شده مربوط مورد بررسی قرار گرفته است. در قسمت سوم مسأله مسیریابی تعریف شده است و قسمت چهارم به هزینه‌های ناشی از بی‌توجهی به مسأله مسیریابی اشاره شده است. در قسمت پنجم چگونگی توزیع محصولات برنجی در شرکت تولیدی صنعتی ذوب آلیاژ مورد مطالعه قرار گرفته است. قسمت ششم به تشریح الگوریتم SA و چگونگی

1. Tesco, Safeway & Asada

به‌کارگیری آن در حل مسأله توزیع می‌پردازد. در قسمت آخر نیز نتیجه مقاله ارائه شده است.

اهمیت مسأله مسیریابی

مقالات متعددی در زمینه اهمیت موضوع مسیریابی با توجه به هزینه مربوط به آن منتشر گردیده است که از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

در سال ۱۹۸۳ بودین[1] و همکارانش اعلام کردند که هزینه‌های توزیع در حدود ۴۰۰ میلیون دلار هر ساله به هزینه‌های کالای خریداری شده اضافه می‌کند (بودین، ۱۹۸۳).

مگی[2] و همکارانش در سال ۱۹۸۵ در کتابی که منتشر کرده‌اند، اظهار داشته‌اند که هزینه‌های حمل ونقل و توزیع در بعضی محصولات می‌تواند تا ۵۰٪ هزینه محصول را شامل شود آن‌ها هم‌چنین در این کتاب اشاره به این موضوع داشتند که این هزینه در خیلی از صنایع بیش‌تر از ۲۵٪ فروش را شامل می‌شود (مگی، ۱۹۸۵).

کریستوفیدز و مینگزی[3] در سال ۱۹۸۹ بیان کردند که تقریباً ۴۰٪ هزینه‌های حمل و نقل شامل توزیع کالا از انبارها به مشتریان می‌شود (کریستوفیدزو مینگزی، ۱۹۸۹).

در نگاره ۱ آمار جالب توجهی که توسط مکینون[4] در سال ۱۹۹۹، ارائه شده است، اهمیت موضوع را کاملاً مشخص می‌کند (مکنیون، ۱۹۹۹).

نگاره ۱. هزینه توزیع

	UK (1996) %	US (1998) %
حمل و نقل و توزیع	۴۸	۴۶
موجودی	۲۰	۲۲
انبار	۲۵	۲۲
اداری و غیره	۷	۱۰
مجموع	۱۰۰	۱۰۰

1. Bodin
2. Magee
3. Christofides & Mingozzi
4. Mckinnon

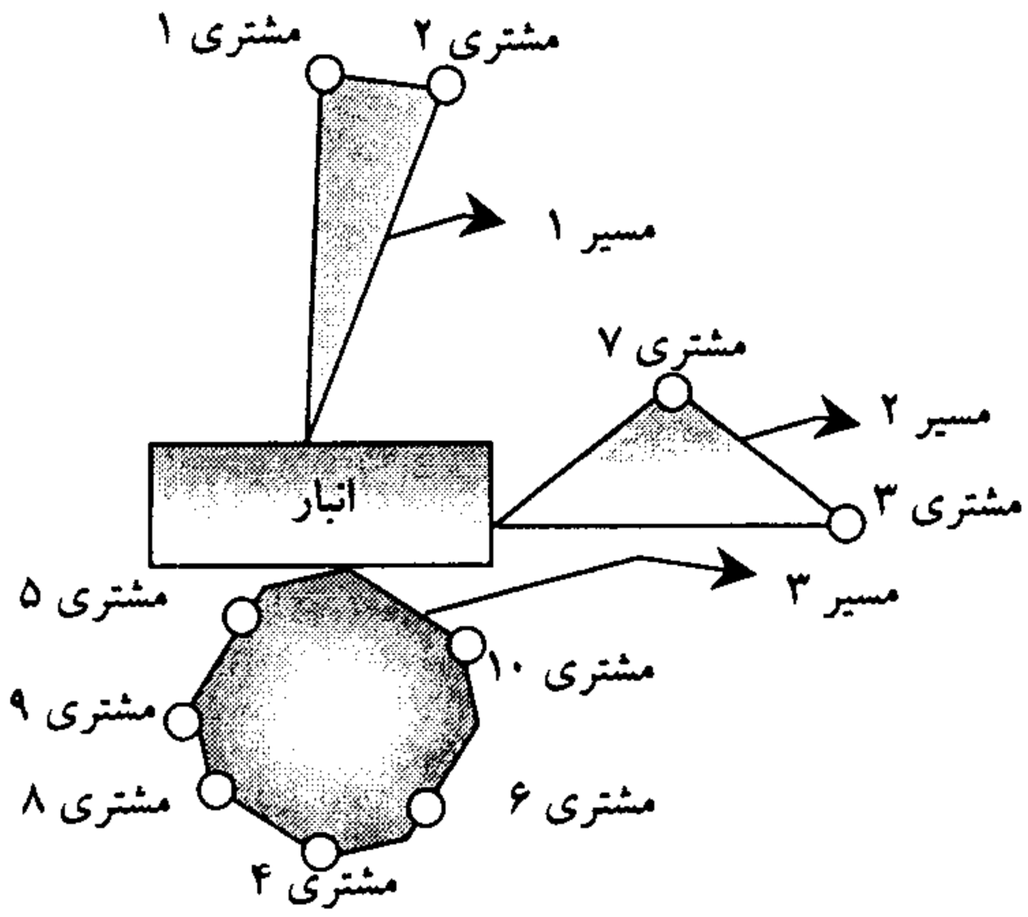
بنابراین با توجه به موارد ارائه شده، مسأله مسیریابی و در نتیجه جایگاهی که این موضوع می‌تواند در بحث حسابداری مدیریت داشته، مشخص می‌گردد.

تعریف مسأله مسیریابی

بر طبق ادبیات موضوع، مسأله مسیریابی به شرح زیر تعریف می‌گردد:

شرکتی را در نظر بگیرید که دارای یک یا چندین مرکز توزیع (انبار) می‌باشد که در آن تعدادی وسایط نقلیه جهت حمل کالا به مشتریان با ظرفیت‌های یکسان و یا متفاوت وجود دارد. میزان تقاضای مشتریان (برحسب مقدار، نوع و زمان تحویل کالا) و هم‌چنین موقعیت جغرافیایی مشتریان و مراکز توزیع در قالب زمان و مسافت نسبت به یکدیگر مشخص می‌باشد. هر وسیله نقلیه به منظور تحویل تقاضای مشتریان انبار را ترک و پس از تحویل دوباره مراجعت می‌کند (که این یک مسیر نامیده می‌شود) در این مسأله با توجه به تقاضای مشتریان (کالا) و محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه مسیرها باید به‌گونه‌ای طراحی گردند که ضمن برآورده نمودن تقاضای مشتریان، تعداد وسایط نقلیه سرویس‌دهنده و هم‌چنین زمان و مسافت طی شده توسط آن‌ها را حداقل کند.

همان‌طور که در نمودار ۱ نشان داده شده است یک انبار مرکزی و تعداد ۱۰ مشتری وجود دارند که توسط ۳ وسیله‌نقلیه (سه مسیر) سرویس داده می‌شوند.



نمودار شماره ۱.

هزینه‌های ناشی از بی‌توجهی به مسأله مسیریابی

اگر به مسأله مسیریابی توجه خاصی نشود، هزینه‌هایی به شرح زیر به شرکت تحمیل می‌گردد.

الف ـ هزینه از دست دادن مشتری
این هزینه می‌تواند به خاطر مواردی از قبیل نبودن کالای مورد نظر و یا تحویل ندادن کالا در زمان مورد نظر به مشتری ناشی شود. بنابراین کالاها باید از مراکز توزیع به موقع و با توجه به نیاز مشتری ارسال گردد تا از بروز این نوع هزینه‌ها که به هزینه‌های پنهانی معروف هستند، جلوگیری شود.
ب ـ هزینه تعمیر و نگهداری ماشین‌ها
ج ـ هزینه سوخت
د ـ حقوق رانندگان
ه ـ هزینه بیمه
و ـ هزینه استهلاک
ز ـ اضافه‌کاری
ح ـ هزینه نگهداری کالا
ط ـ اجاره ماشین
بنابراین، توجه به مسأله مسیریابی می‌تواند باعث کاهش یا حذف هزینه‌هایی مانند موارد بالا گردد.
لذا این تحقیق درصدد آن است که مسأله مسیریابی در شرکت تولیدی صنعتی ذوب آلیاژ را به شرح زیر مورد بررسی و مطالعه قرار دهد.

معرفی و گردش توزیع محصولات برنجی شرکت تولیدی صنعتی ذوب آلیاژ

شرکت تولیدی ذوب آلیاژ یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان مقاطع (گرد ـ شش‌گوش ـ پروفیل) برنجی در ایران می‌باشد. دو انبار اصلی محصولات این شرکت، یکی در پاکدشت و دیگری در کرج واقع شده است. مقاطع برنجی از سایز ۱۲ تا ۷۰ میلی‌متری از انبار پاکدشت و مقاطع زیرسایز ۱۲ میلی‌متری از انبار کرج به مشتریان توزیع می‌گردد. مشتریان شرکت ممکن است متقاضی یکی از انواع مقاطع در سایزهای متفاوت باشند، با توجه به این که فروش محصولات همراه با تحویل آن‌ها در محل مورد نظر مشتری می‌باشد، لذا این امر موجب می‌گردد که هزینه حمل و نقل مبلغ قابل توجهی را به خود اختصاص دهد. لازم به ذکر است که مشتریان نیز ضایعات حاصل از مقاطع برنجی را که به‌عنوان یکی از عناصر مواد اولیه برای شرکت ذوب آلیاژ می‌باشد، به آن‌جا ارسال می‌کنند. بقیه عناصر تشکیل‌دهنده مواد اولیه، مانند مس و روی از مکان‌های خاصی خریداری و به کارخانه ارسال می‌گردد. بنابراین طراحی مسیرهای زمان‌بندی شده برای وسیله‌های نقلیه که وظیفهٔ

حمل و توزیع کالا به مشتریان و جمع‌آوری ضایعات برنجی و دیگر مواد اولیه را دارند وظیفه‌ای مهم و هم‌چنین دشوار می‌باشد. چرا که اگر مسیرها به‌طور صحیح طراحی و زمانبندی نشوند کالاها ممکن است در زمان معین و در مکان درخواستی مشتری به‌دست آن نرسد و یا این که منجر به استفاده از تعداد ماشین‌های بیشتر، افزایش مسافت و زمان پیموده شده توسط آن‌ها گردد.

لازم به ذکر است طراحی مسیرها توسط یک فرد باتجربه انجام می‌گیرد که هیچ‌گونه آشنایی با حل مسأله توزیع به روش علمی ندارد. برای نمونه یکی از مسیرهای طراحی شده توسط مسؤول مربوطه به شرح زیر آورده شده است.

برای محصولات گرد (CY) و شش‌گوش (SW)، زمان عملیات تحویل کالا (Time Window) ۲ ساعت می‌باشد و برای محصولات ۴ گوش (FW) و پروفیل ۱ ساعت می‌باشد. به‌عنوان نمونه مسیر اول به شرح زیر می‌باشد:

Name	Type	dprt	Arv1	Volume	action	route	Trip
Pakdasht	--	5.31	0.00	0	-	1	1
Varamin	BH	6.41	6.14	5	P	1	1
Pakdasht	--	7.54	7.24	5	D	1	2
Cust 10	PAK/PAK PROFIL	8.52	8.29	5	D	1	2
Cust 10	PAK/PAK FW	9.04	8.52	6	D	1	2
Anbarsaveh	BH	10.14	9.14	21	P	1	2
Pakdasht	--	11.15	10.45	21	D	1	3
Cust 20	PAK/PAK CY	13.47	13.06	14	D	1	3
Cust 20	KAR/PAK CY	14.02	13.47	7	D	1	3
Cust 20	SALVAGE	14.02	14.02	21	P	1	3
Pakdasht	--	0.00	15.53	0	-	1	3
TOTAL TIME	9.22						
TOTAL DIS	190.70						
Waiting time	0.00						
Lateness	0.50						
Pateness	--	3.53	0.00	0	-	2	1

الف ـ در سفر اول کامیون در ساعت ۵/۳۱ دقیقه به صورت خالی انبار را به سمت ورامین ترک می‌کند و در ساعت ۶/۱۴ دقیقه به آن‌جا می‌رسد.

ب ـ ترک کردن ورامین برای جمع‌آوری پالت‌ها (۵ عدد) در ساعت ۶/۴۱ دقیقه و حرکت به سمت پاکدشت و رسیدن به پاکدشت ساعت ۷/۲۴ دقیقه.

ج ـ در سفر دوم ترک کردن پاکدشت در ساعت ۷/۵۸ دقیقه با ۶ پالت محصول چهارگوش برای مشتری ۱۰، و ساعت ۸/۳۳ دقیقه به آن‌جا می‌رسد.

د ـ ترک مشتری ۱۰ ساعت ۸/۵۸ دقیقه، و رسیدن به انبار ساوه در ساعت ۹/۰۸ دقیقه.

ه ـ ترک کامیون از انبار ساوه ۱۰/۰۸ دقیقه جهت جمع‌آوری پالت‌ها (تعداد ۲۱ عدد) به پاکدشت، و رسیدن به پاکدشت در ساعت ۱۰/۳۹ دقیقه.

و ـ در سفر سوم ترک کامیون از پاکدشت در ساعت ۱۱/۱۳ دقیقه با ۹ پالت محصول گرد برای مشتری ۲۲ و ۵ پالت محصول گرد برای مشتری ۱۷.

ز ـ رسیدن کامیون به مشتری ۲۲ در ساعت ۱۱/۴۳ دقیقه برای تحویل ۹ پالت محصول گرد و ترک آن‌جا در ساعت ۱۲/۰۹ دقیقه.

ح ـ رسیدن به مشتری ۱۷ در ساعت ۱۳/۳۸ دقیقه برای تحویل ۵ پالت محصول گرد و ترک آن‌جا در ساعت ۱۴/۰۰ دقیقه.

ط ـ رسیدن به پاکدشت در ساعت ۱۵/۱۲ دقیقه.

ی ـ در سفر چهارم ترک پاکدشت در ساعت ۱۵/۴۶ دقیقه برای تحویل ۲ پالت محصول گرد برای مشتری ۱۲ و جمع‌آوری پالت‌ها ضایعات به تعداد ۲۱ عدد.

ذ ـ رسیدن به مشتری ۱۲ برای تحویل ۲ پالت محصول گرد در ساعت ۱۶/۲۹ دقیقه و برداشتن ۲۱ پالت ضایعات.

ر ـ ترک مشتری ۱۲ در ساعت ۱۶/۴۶ با ۲۱ پالت ضایعات و رسیدن به پاکدشت در ساعت ۱۷/۲۹.

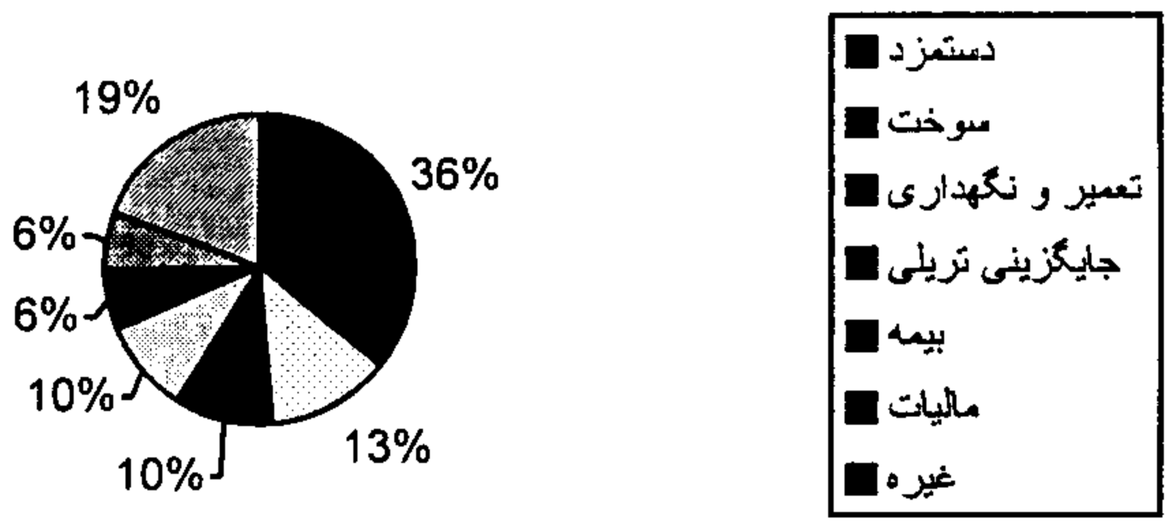
لازم به ذکر است تعداد ماشین‌های استفاده شده برای توزیع و حمل مواد ۱۵ دستگاه (۱۵ مسیر) که ۱۴ مسیر طراحی شده دارای چارچوب مسیر تشریح شده در بالا می‌باشد و هم‌چنین جمع مسافت و زمان طی شده توسط وسایط متفرقه به ترتیب ۵۱۵۰ کیلومتر و ۱۱۰ ساعت می‌باشد.

با توجه به اطلاعات به‌دست آمده از شرکت:

کل هزینه حمل و نقل و توزیع	۴۴/۴۱۷/۵۹۹ ریال
که هزینه فوق متشکل از هزینه‌های زیر می‌باشد:	
دستمزد	۱۵/۹۴۵/۹۱۸ ریال
سوخت	۵/۶۴۱/۰۳۵ ریال
تعمیر و نگهداری	۴/۵۵۲/۸۰۴ ریال

جایگزینی تریلی	۴/۳۴۴/۰۴۱ ریال
بیمه	۲/۶۶۵/۰۵۶ ریال
مالیات	۲/۶۶۵/۰۵۶ ریال
غیره	۸/۶۰۳/۶۸۹ ریال

که در نمودار ۲ به تفکیک درصد مشخص شده است.



نمودار ۲.

الگوریتم SA و چگونگی کاربرد آن در مسأله توزیع

روش Simulated Annealing یکی از الگوریتم‌های هوش مصنوعی است که برای حل مسایل پیچیده به‌کار می‌رود این روش با توجه به عمل Annealing بر روی فلزات طراحی شده است. لذا آن را Simulated Annealing می‌نامند. واژه Annealing به معنای گرم کردن و سپس به‌تدریج سرد کردن است. حال این پدیده را به‌صورت کامل‌تر توضیح می‌دهیم.

در اثر عوامل گوناگون در شبکه کریستالی فلزات یک سری نابجایی ایجاد می‌شود، یعنی بعضی از کریستال‌ها شکل اولیه خود را از دست می‌دهند. این نابجایی‌ها سطح انرژی مولکول‌های درگیر را بالا می‌برند، زیرا پیوندهای اولیه شبکه کریستالی این انرژی را به حداقل رسانده بودند.

برای برطرف کردن این نابجایی‌ها، فلز را حرارت می‌دهند تا به دمای معینی برسد (در دمای بالا مولکول‌ها توان جابجایی بیشتری دارند و لذا راحت‌تر می‌توانند شبکه کریستالی را ترمیم کنند) و سپس آن را به آرامی سرد می‌کنند. لازم به ذکر است که در اثر سرد کردن سریع فلز برخی از این نابجایی‌ها باقی خواهند ماند.

با توجه به این که مسأله مسیریابی یکی از انواع مسائل بهینه‌یابی ترکیبی از نوع NP-hard می‌باشد. بنابراین حل این نوع مسائل در اندازه‌های بزرگ با روش‌های بهینه‌یابی

معمول، میسر نمی‌باشد. لذا از الگوریتم‌های هوش مصنوعی برای حل این نوع مسأله استفاده می‌گردد. روش پیشنهادی در این مقاله برای حل مسأله توزیع شرکت تولیدی صنعتی ذوب آلیاژ، الگوریتم SA که در بالا توضیح داده شده است می‌باشد. در این قسمت ما به چگونگی استفاده از این الگوریتم برای حل مسأله فوق می‌پردازیم.

تابع هدف در مسأله توزیع فوق کمینه کردن هزینه توزیع در قالب تعداد وسائط‌نقلیه و مسافت طی شده توسط وسائط فوق می‌باشد که عبارت است:

$$Minz = C_1 p_1 + C_2 P_2$$

C_1 : هزینه هر وسیله‌نقلیه برای حمل کالا که برابر است با ۱/۰۷۵/۸۰۰ ریال
(عدد فوق از حسابداری شرکت استخراج شده است)

P_1 : تعداد وسائل‌نقلیه استفاده‌شده

C_2 : هزینه مسافت طی شده برای هر کیلومتر ۵۴۹۱/۳۷۸۴ ریال

P_2 : مسافت طی‌شده توسط وسائط‌نقلیه

در اولین قدم این الگوریتم یک جواب اولیه برای مسأله می‌یابد (X_1). این جواب مقدار تابع هدف را برابر E_1 می‌کند. [به مقدار به‌دست آمده از تابع هدف سطح انرژی می‌گویند]. بنابراین این در مسأله فوق جواب اولیه (مسیرهای مشخص شده) همان جوابی است که توسط فرد متخصص و باتجربه در شرکت ذوب آلیاژ طراحی گردیده است. همان‌طور که در قسمت قبل ذکر شد تعداد وسائط‌نقلیه مورد استفاده برابر با ۱۵ دستگاه و هم‌چنین جمع مسافت و زمان طی شده توسط آن‌ها به ترتیب ۵۱۵۰ کیلومتر و ۱۱۰ ساعت می‌باشد بنابراین مقدار تابع هدف یا E_1 برابر است:

Minz = ۱۰۷۵۸۰۰ ×۱۵ + ۵۴۹۱/۳۷۸۴ + ۵۱۵۰ = ۴۴۴۱۷۵۹۸/۷۶ ≈ ۴۴۴۱۷۵۹۹ ریال

در دومین قدم یک همسایگی برای X_1 به‌دست می‌آوریم مانند X_2. جهت تولید همسایگی‌های مختلف از روش λ - Interchange که اولین بار توسط عثمان در سال ۱۹۹۳ به‌وجود آمد استفاده می‌شود (Osman, 1993). جهت تحویل کالا به مشتریان ۱۵ مسیر طراحی شد به‌عبارت دیگر جواب اولیه X_1 :

$$X1 = \{S_1, s_2, \ldots, s_{15}\}$$

لازم به‌ذکر است که هر مسیر (s_i) شامل یک یا چند مشتری با توجه به محدودیت‌هایی از قبیل ظرفیت ماشین، نوع تقاضا و زمان تحویل آن می‌باشد.

عملکرد λ - Interchange به این ترتیب می‌باشد که کلیهٔ مشتریان در مسیری S_1 تا S_{15} را در نظر گرفته و در هر مرحله در یک مسیر هر مشتری را خارج کرده و در مسیرهای دیگر قرار می‌دهد، سپس تابع هدف را محاسبه می‌نماید (E_2).

در مرحله سوم، الگوریتم، E_1 و E_2 را نسبت به هم مقایسه می‌کند اگر $E_1 \rangle E_2$ باشد آن‌گاه E_2 را به‌عنوان جواب مطلوب در نظر می‌گیرد. با توجه به این که این الگوریتم با قبول جواب‌های بدتر قادر خواهد بود که تمامی فضای جواب را جستجو کند. لذا در حالی که $\exp[(E_2 - E_1)/T]$ باشد آن‌گاه جواب E_2 را به‌عنوان جواب فعلی و E_1 را به‌عنوان بهترین جواب ذخیره می‌کند. این بدان معناست که احتمال جایگزین شدن $X_1 \leq X_2$ از رابطه فوق به‌دست می‌آید که در آن T عددی است که در ابتدای مسأله برابر مقدار خاصی در نظر گرفته می‌شود و سپس به‌تدریج در ادامه مسأله کاهش پیدا می‌کند. با کاهش پیدا کردن T احتمال پذیرش جواب‌هایی که تابع هدف را زیادتر می‌کند کم می‌شود (به T دمای محیط می‌گویند و همان‌طور که دیدیه می‌شود کاملاً مانند دمای محیط در عمل Annealing جسم جامد کار می‌کند).

در مرحله چهارم الگوریتم را چند بار در دمای T تکرار می‌کنیم.

در مرحله پنجم دمای محیط کاهش داده می‌شود که این عمل توسط ضریب $\alpha = ۰/۹۹$ که بیان‌گر سرعت سرد کردن است انجام می‌گردد.

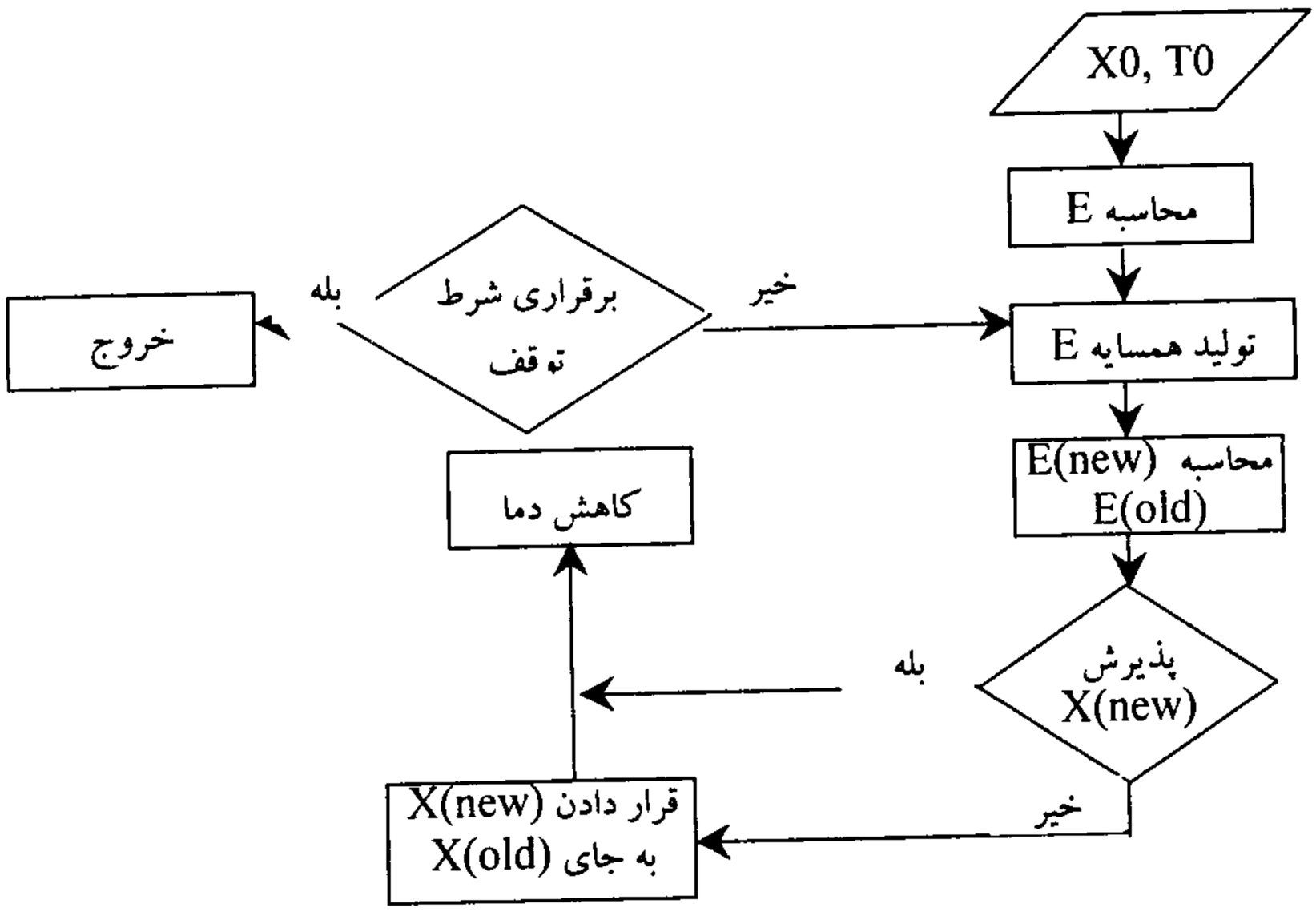
در مرحله ششم الگوریتم را آن‌قدر ادامه می‌دهیم که به شرایط پایانی مسأله که تکرار بهترین جواب می‌باشد برسد. در مسأله فوق جواب بهینه برابر است با:

$Z = ۱۲ \times ۱۰۷۵۸۰۰ + ۵۴۹۱/۳۷۸۴ \times ۴۱۸۰ = ۳۵۸۶۳۵۶۲$ ریال

با حل مسأله توسط الگوریتم SA تعداد وسایط‌نقلیه استفاده شده از ۱۵ دستگاه به ۱۲ دستگاه و مسافت طی شده از ۵۱۵۰ کیلومتر به ۴۱۸۰ کیلومتر تقلیل یافته است.

به عبارت دیگر، کل هزینه حمل و نقل ۴۴۴۱۷۵۹۹ ریال به ۳۵۸۶۳۵۶۲ ریال کاهش یافته است.

در نمودار ۳ یک نمای کلی الگوریتم Simulated Annealing نشان داده شده است.



نمودار شماره ۳. نمای کلی الگوریتم **SA**

مسیرهای طراحی شده توسط الگوریتم که برای شرکت تولیدی صنعتی ذوب آلیاژ کمترین هزینه را دارد به شرح زیر می‌باشد.

Name	Type	dprt	Arv1	Volume	action	route	Trip
Pakdasht	--	5.31	0.00	0	-	1	1
Varamin	BH	6.41	6.14	5	P	1	1
Pakdasht	--	7.54	7.24	5	D	1	2
Cust 10	PAK/PAK PROFIL	8.52	8.29	5	D	1	2
Cust 10	PAK/PAK FW	9.04	8.52	6	D	1	2
Anbarsaveh	BH	10.14	9.14	21	P	1	2
Pakdasht	--	11.15	10.45	21	D	1	3
Cust 20	PAK/PAK CY	13.47	13.06	14	D	1	3
Cust 20	KAR/PAK CY	14.02	13.47	7	D	1	3
Cust 20	SALVAGE	14.02	14.02	21	P	1	3
Pakdasht	--	0.00	15.53	0	-	1	3
TOTAL TIME	9.22						
TOTAL DIS	190.70						
Waiting time	0.00						
Lateness	0.50						
Pateness	--	3.53	0.00	0	-	2	1
Cust 26	PAK / PAK FW	6.33	6.18	2	D	2	1
Cust 26	PAK / PAK PROFIL	6.45	6.33	8	D	2	1
Cust 27	PAK / PAK PROFIL	7.33	7.10	5	D	2	1
Cust 27	PAK / PAK FW	7.45	7.33	6	D	2	1
Karaj	--	9.28	8.55	0	-	2	1
Cust 15	KAR / KAR CY	11.30	11.11	3	D	2	1
Cust 16	KAR / KAR CY	12.01	11.43	3	D	2	1
Cust 6	KAR / KAR CY	12.52	12.19	10	D	2	1
Pakdasht	--	0.00	13.42	0	-	2	1
TOTAL TIME	8.49						
TOTAL DIS	211.70						
Waiting time	0.00						
Lateness	0.00						
Pakdasht	--	5.53				3	1
Cust 11	PAK / PAK PROFIL	6.52				3	1
Cust 11	PAK / PAK FW	6.60				3	1
Pakdasht	--	8.06				3	2
Cust 7	PAK / PAK PROFIL	9.13				3	2

Cust 7	PAK / PAK FW	9.17				3	2
Cust 7	SALVAGE	9.17					
Pakdasht	--	10.25				3	3
Cust 1	KAR / KAR CY	13.34				3	3
Cust 1	SALVAGE	13.34				3	3
Pakdasht	--	0.00				3	3
TOTAL TIME	9.21						
TOTAL DIS	251.20						
Wating time	0.00						
Lateness	0.00						
Pakdasht	--	5.01				4	1
Cust 21	PAK / PAK FW	7.04				4	1
Cust 21	PAK / PAK PROFIL	7.29				4	1
Cust 21	SALVAGE	7.29				4	1
Pakdasht	--	9.31				4	2
Cust 13	PAK / PAK CY	11.56				4	2
Cust 18	PAK / PAK SW	13.57				4	2
Cust 19	PAK / PAK SW	15.22				4	2
Pakdasht	--	0.00				4	2
TOTAL TIME	9.50						
TOTAL DIS	245.40						
Wating time	0.00						
Lateness	0.21						
Pakdasht	--	5.07	0.00	0	-	5	1
Cust 24	PAK / PAK PROFIL	7.09	6.44	6	D	5	1
Cust 24	PAK / PAK FW	7.17	7.09	4	D	5	1
Cust 24	PAK / PAK SW	7.21	7.17	2	D	5	1
Cust 25	PAK / PAK SW	8.25	8.08	2	D	5	1
Cust 25	SALVAGE	8.25	8.25	21	P	5	1
Karaj	--	10.17	9.45	0	-	5	1
Cust 3	KAR / KAR CY*	13.17	12.42	11	D	5	1
Pakdasht	--	0.00	14.02	0	-	5	1
TOTAL TIME	7.55						
TOTAL DIS	227.00						
Wating time	0.00						
Lateness	0.00						
Pakdasht	--	5.06	0.00	0	-	6	1
Cust 25	PAK / PAK PROFIL	7.14	6.47	7	D	6	1
Cust 25	PAK / PAK FW	7.30	7.14	8	D	6	1
Karaj	--	9.23	8.50	0	-	6	1
Cust 8	KAR / KAR CY*	11.34	11.09	6	D	6	1
Pakdasht	--	0.00	12.35	0	-	6	1
TOTAL TIME	6.29						
TOTAL DIS	183.10						
Wating time	0.00						
Lateness	0.00						
Pakdasht	--	6.22			-	7	1
Cust 12	PAK / PAK PROFIL	7.30			D	7	1
Cust 12	PAK / PAK FW	7.40			D	7	1
Cust 22	KAR / KAR CY	9.08			D	7	1

Pakdasht	--	10.08			-	7	2
Cust 12	PAR / PAR CY	12.27			D	7	2
Pakdasht	--	0.00			-	7	2
TOTAL TIME	6.31						
TOTAL DIS	151.40						
Wating time	1.38						
Lateness	0.00						
Pakdasht	--	6.12	0.00	0	-	8	2
Cust 18	PAK / PAK PROFIL	7.53	7.24	8	D	8	2
Cust 18	PAK / PAK FW	8.13	7.53	10	D	8	2
Cust 18	SALVAGE	8.13	8.13	21	P	8	2
Pakdasht	--	9.55	9.25	0	-	8	3
Cust 16	PAR / PAR CY	11.15	10.33	14	D	8	3
Cust 8	PAR / PAR CY	12.01	11.37	6	D	8	3
Cust 8	SALVAGE	12.01	12.01	21	P	8	3
Pakdasht	--	13.32	13.02	0	-	8	3
Cust 10	KAR / KAR CY	14.42	14.07	11	D	8	3
Cust 12	PAR / PAR CY	16.18	15.43	11	D	8	3
Cust 16	SALVAGE	17.17	17.17	21	P	8	3
Pakdasht	--	0.00	17.55	0	-	8	3
TOTAL TIME	10.43						
TOTAL DIS	258.80						
Wating time	0.00						
Lateness	12.31						
Pakdasht	--	7.03	0.00	0	-	9	1
Cust 9	PAK / PAK PROFIL	8.02	7.39	5	D	9	1
Cust 9	PAK / PAK FW	8.10	8.02	4	D	9	1
Cust 9	SALVAGE	8.10	8.10	21	P	9	1
Pakdasht	--	9.16	8.46	0	-	9	2
Cust 23	PAR / PAR CY	11.52	11.15	12	D	9	2
Cust 23	SALVAGE	11.52	11.52	21	P	9	2
Karaj	--	13.32	12.59	0	-	9	2
Cust 2	KAR / KAR CY*	15.22	14.56	9	D	9	2
Cust 14	KAR / KAR CY*	16.28	15.53	11	D	9	2
Pakdasht	--	0.00	17.54	0	-	9	2
TOTAL TIME	9.51						
TOTAL DIS	223.60						
Wating time	0.00						
Lateness	0.00						
Pakdasht	--	8.32	0.00	0	-	10	1
Cust 7	PAK / PAK FW	9.33	9.10	5	D	10	1
Cust 7	PAR / PAR CY	10.06	9.33	16	D	10	1
Pakdasht	--	11.14	10.44	0	-	10	1
Cust 8	PAR / PAR CY	12.39	12.15	6	D	10	1
Cust 18	PAR / PAR CY	14.55	14.09	16	D	10	1
Pakdasht	--	0.00	16.07	0	-	10	1
TOTAL TIME	6.35						
TOTAL DIS	151.70						
Wating time	0.00						
Lateness	0.00						

Pakdasht	--	7.26	0.00	0	-	11	1
Cust 13	KAR / KAR CY	9.38	9.18	5	D	11	1
Cust 5	KAR / KAR CY	10.48	10.25	7	D	11	1
Cust 12	KAR / KAR CY	13.05	12.49	2	D	11	1
Cust 18	KAR / KAR CY	14.13	13.50	5	D	11	1
Cust 12	SALVAGE	14.58	14.58	21	P	11	1
Pakdasht	--	0.00	15.41	0	-		
TOTAL TIME	7.15						
TOTAL DIS	212.80						
Wating time	0.00						
Lateness	0.00						
Pakdasht	--	9.33	0.00	0	-	12	1
Cust 17	PAR / PAR CY	11.37	11.01	16	D	12	1
Cust 17	SALVAGE	11.37	11.37	21	P	12	1
Pakdasht	--	13.35	13.05	0	-	12	2
Cust 4	PAR / PAR CY	15.38	15.05	14	D	12	2
Cust 4	SALVAGE	15.38	15.38	21	P	12	2
Pakdasht	--	0.00	17.08	0	-	12	2
TOTAL TIME	6.35						
TOTAL DIS	167.20						
Wating time	0.00						
Lateness	0.00						
Number of vehicle	12						
Total time =	99.16 Hours						
Total distance =	2474.60 Km						

نتیجه‌گیری

با توجه به مطالبی که گفته شد با حل مسأله با الگوریتم SA تعداد وسایط نقلیه استفاده شده از ۱۵ دستگاه به ۱۲ دستگاه و مسافت طی شده از ۵۱۵۰ کیلومتر به ٤۱۸۰ کیلومتر و زمان طی شده از ۱۱۰ ساعت به ۹۹/۱۷ ساعت تقلیل یافته که نتیجتاً کل هزینه‌های حمل و نقل از ٤٤٤۱۷۵۹۹ ریال به میزان ۳۵۸٦۳۵٦۲ ریال تقلیل پیدا نمود. بنابراین نتایج حاصله از الگوریتم مسیریابی نشانگر آن است که کل مسایل توزیع مبتنی بر روش‌های علمی موجب می‌گردد تا کل هزینه‌های علمیاتی که ناشی از تقلیل وسایل نقلیه و کاهش مسافت و زمان طی شده می‌باشد به‌طور محسوسی کاهش یابد که این خود موجب کاهش بهای تمام شده محصول گشته و سود شرکت افزایش یابد و در نتیجه ارائه خدمات به‌موقع و سریع به مشتریان موجب افزایش رضایت آنان گردد.

بنابراین شرکت‌هایی که حمل و نقل مواد و توزیع کالا را به عهده دارند نظیر فروشگاه‌های زنجیره‌ای شهروند، اتکا، رفاه و غیره می‌توانند با الگوگیری از این روش‌ها جهت کاهش هزینه‌های توزیع و در نهایت کاهش بهای تمام شده کالاها مورد استفاده قرار دهند.

منابع

Bodin, L.Golden, B., Assd, A. & Ball. M. 1983, Routing and Scheduling of Vehicles and Crews: The State of the Art. Computers and Operation Research. Vol. 10, No. 2, PP.63-211.

Christofides, N. Mingozzi, A. 1989. Vehicle Routing Practical and Algorithm Aspects in Logistics – where Ends Have to Meet, Pergamon Press.

Magge, J. G., Copacino, W.F., Rosenfield, D. B. 1985. Modern Logistics Management. John Wiley & Sons, Inc.

Mckinnon, Alan C. 1999. Physical Distribution Systems. Routledge.

Osman, I. H. 1993. Meta Strateyg Simulated Anneling and Taba Search Algorithms for the Vehicle Rohicle Routing Problem. Annals of Operations Research. Vol. 41, PP. 421-451.