

ارائه یک مدل تصمیم‌گیری چند هدفه برای بهینه‌سازی قیمت تمام شده مواد اولیه: مطالعه موردی، کارخانه سیمان هگمتان

سیدمحمدحسن رضویان^۱، دانشجوی دکتری تخصصی مدیریت استراتژیک صنعتی

مهدی جهانگیریان، مدیر کنترل کیفی و امور معادن سیمان هگمتان

چکیده:

رشد منفی و رکود اقتصادی سالیان اخیر در صنعت سیمان کشور، لزوم کاهش قیمت تمام شده را به عنوان یکی از مهمترین استراتژیها، گوشزد می‌نماید. شرکت سیمان هگمتان با هدف کاهش قیمت تمام شده، خصوصاً در بخش تامین مواد اولیه نسبت به انجام فعالیت‌های پژوهشی اقدام نموده است. مدل تصمیم‌گیری چندهدفه^۲ برای حداقل‌سازی هزینه‌های تامین مواد اولیه و همزمان حداکثرسازی فاکتورهای کیفی مواد از طریق تغییر نسبت‌های وزنی طرح اختلاط مواد خام طراحی و با موفقیت به مرحله اجرا رسیده است. مجموعه اقدامات انجام شده منجر به کاهش هزینه تامین مواد اولیه، حداقل به میزان ۳ درصد گردیده است. تحلیل حساسیت انجام شده بر روی مدل نشان می‌دهد کاهش ۶ تا ۸ درصدی هزینه مذکور برای تولید برخی از انواع سیمان، امری شدنی است که در مراحل آتی، عملیاتی خواهد گردید. به نظر می‌رسد با توجه به رقابت تنگاتنگ در صنعت سیمان، طراحی و اجرای این قبیل مدل‌ها در کارخانجات، می‌تواند به کاهش قیمت تمام شده و ایجاد مزیت رقابتی نسبی منجر گردد.

کلمات کلیدی:

تصمیم‌گیری چندهدفه - استراتژی کاهش قیمت تمام شده - صنعت سیمان - اختلاط مواد اولیه

¹ Razavian@Engineer.com

² Multiple objective decision making

۱- مقدمه :

صنعت سیمان ، دوره پر فراز و نشیبی را طی دو سال اخیر پشت سر گذاشت به نحوی که رشد منفی و رکود اقتصادی ، تاثیر منفی مستقیمی بر وضعیت تولید و سودآوری آن در پی داشته است. علاوه بر این، عدم تطبیق بهای تمام شده تولید و قیمت عرضه محصولات سبب شده این صنعت با کاهش صادرات محصولات و نیز افت تولید و سودآوری مواجه شود. تداوم این وضع موجب شد تا بسیاری از شرکت های تولید کننده در سه ماهه ابتدایی سال جاری به ورطه ورشکستگی و نابودی کشیده شوند که خوشبختانه در تیر ماه سال ۹۵ طرح مدیریت تحویل مبتنی بر عرضه و متناسب با تقاضای موجود، تدوین گردیده و در کنار آن کاهش تخفیفات فروش نیز عملیاتی شد.

در کنار اقدامات فوق که در سطح کلان صنعت مطرح است ، توجه بیش از پیش به استراتژی کاهش قیمت تمام شده و تدوین اقدامات عملیاتی متناسب از سوی هریک از شرکت ها نیز ، همچنان در کانون توجه قرار دارد. در این راستا ، شرکت سیمان هگمتان با تمرکز بر مطالعه و طراحی شیوه های کاهش قیمت تمام شده در کلیه بخش ها ، اقدامات موثری را به انجام رسانیده است. از جمله این اقدامات ، کاهش قیمت تمام شده در بخش تامین و آماده سازی مواد اولیه می باشد. قیمت تمام شده مواد اولیه در کارخانه سیمان هگمتان حدوداً ۱۵ درصد از قیمت تمام شده کلینکر را تشکیل داده و هرگونه تغییری در این مقدار ، تاثیر قابل ملاحظه ای در حاشیه سود شرکت خواهد داشت.

علاوه بر کاهش هزینه های استخراج و تامین مواد اولیه که عمدتاً در جریان بازننگری شیوه های استخراج در معادن و نیز یافتن تامین کنندگان مواد ارزانتر صورت می پذیرد و موضوع بحثی جداگانه است ، طراحی مدل اختلاط مواد اولیه در بصره ترین حالت ممکن و با در نظر گرفتن خصوصیات کیفی مد نظر که منجر به ارائه یک مدل تصمیم گیری صحیح برای اختلاط مواد گردد ، به طور ویژه در این مقاله مورد بحث قرار گرفته است.

۲- مدلسازی

استفاده از مدل ها و فنون ریاضی در حل مسائل تصمیم گیری ، موجد علمی به نام تحقیق در عملیات است . به عبارت دیگر تحقیق در عملیات شاخه ای از ریاضیات است که به کاربرد روشهای علمی در مسائل تصمیم گیری و رسیدن به بهترین جواب یا جواب بهینه می پردازد. برنامه ریزی ریاضی ، بخشی از مدل های تحقیق در

عملیات است که به منظور یافتن حداکثر و یا حداقل تابعی متشکل از چند متغیر با توجه به مجموعه ای از محدودیت ها مورد استفاده قرار می گیرد. به طور کلی می توان ادعا کرد که برنامه ریزی ریاضی بر مسائل معین و غیراحتمالی تاکید دارد. مدل برنامه ریزی خطی یکی از مدل های کارا و مهم برنامه ریزی ریاضی است که در حل مسائل واقعی در زمینه های مختلف از جمله تخصیص منابع ، مسائل مخلوط کردن عناصر ، زمانبندی ، برنامه ریزی نیروی انسانی و برنامه ریزی اقتصادی مورد استفاده قرار می گیرد. (مهرگان ۱۳۹۱)

اما برخلاف برنامه ریزی خطی که فرض می کند تصمیم گیرندگان تنها یک هدف دارند ، در بسیاری از مسائل واقعی ، بیش از یک هدف وجود دارد. در این صورت ، در نظر گرفتن تنها یک هدف ، ممکن است باعث بروز مشکلاتی گردد. به عنوان مثال اگر شرکتی در تصمیم گیری اش در خصوص میزان تولید تنها به سود فکر کند و از اهداف دیگری همچون رضایت مشتری ، رضایت کارکنان ، تنوع تولید ، سهم بازار و ... غافل شود، ممکن است در بلند مدت نتواند به بقا خود ادامه دهد. بنابراین لازم است مدل های چند هدفه مورد استفاده قرار گیرند. (مومنی ۱۳۹۳)

شکل عمومی مدل برنامه ریزی چند هدفه با K هدف مختلف f_1, f_2, \dots, f_n بصورت زیر است :

$$\text{Max}(\text{Min}) f_1(x_j)$$

$$\text{Max}(\text{Min}) f_2(x_j)$$

...

$$\text{Max}(\text{Min}) f_n(x_j)$$

Subject to:

$$g_i(x_j) \leq b_i \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m \quad \text{محدودیت های عملیاتی}$$

$$x_j \geq 0 \quad , \quad j = 1, 2, \dots, n \quad \text{محدودیت های نامنفی}$$

که در آن x_j متغیر تصمیم j ، n تعداد متغیرهای تصمیم ، $g_i(x_j)$ محدودیت i ام ، m تعداد محدودیت ها و b_i مقداری نامنفی و ثابت است.

این مدل از سه بخش تشکیل می یابد: توابع هدف که بیانگر اهداف تصمیم گیرنده است و به دو صورت حداکثر کردن یا حداقل کردن نشان داده می شود. محدودیت های عملیاتی که موانع دستیابی به اهداف را بیان می دارند و وضعیت متغیرها که بصورت غیر منفی آشکار می گردند.

در موضوع پژوهش این مقاله ، مدل سازی چند هدفه با چهار تابع هدف ، شامل : حداقل کردن هزینه تامین مواداولیه ، حداکثر کردن LSF ، حداکثرکردن SIM و حداقل کردن ALM انجام گردیده و از بین روش های مختلف حل مدل های چند هدفه ، روش اولویت مطلق^۳ انتخاب گردیده است. در این روش ، مسئله را تنها با هدفی که اولویت اول را دارد (در اینجا حداقل سازی هزینه) حل می کنیم و جواب بهینه را بدست می آوریم و در مراحل بعد تابع هدف اولویت اول را برابر جواب بهینه بدست آمده قراردادده و به عنوان یک محدودیت به مسئله اضافه کرده و مسئله را با در نظر گرفتن تابع هدف با اولویت دوم (در اینجا حداکثر سازی LSF) حل می کنیم. این رویه به همین صورت برای اولویت های بعدی تکرار می شود.

تا قبل از انجام مدل سازی ، برای اختلاط مواد خام اولیه در سالن خاک ، با در نظر گرفتن بازه مجاز تغییرات در آنالیز حاصل از ترکیب نهایی (که می بایست خواص لازم برای تولید کلینکر مورد نظر را داشته باشد) ، می توان نسبت به ارائه طرح های اختلاط متفاوت ، با درصدهای وزنی مختلف ، اقدام نمود . بدیهی است که در این حالت به دلیل تفاوت در قیمت تمام شده هریک از مواد ، هزینه نهایی هر یک از طرح های اختلاط متفاوت خواهد بود. به کمک مدل برنامه ریزی چند هدفه می توان با در نظر گرفتن شرایط کیفی ماده حاصل از اختلاط نهایی ، نسبت به ارائه راه حلی که متضمن حداقل هزینه و حداکثر کیفیت نیز باشد اقدام نمود. همانطور که ذکر شد تابع هدف اولویت اول ، بصورت حداقل سازی مجموع هزینه متغیر هر واحد از مواد تشکیل دهنده پایل مواد خام در نظر گرفته شده است.

هزینه های متغیر، بخشی از هزینه کل هستند که برای اختلاط هر واحد اضافی از تولید محصول مورد استفاده قرار می گیرند . مانند هزینه مستقیم مواد (استخراج ، حمل و بارگیری و خرید سایر مواد اولیه) و هزینه های نیروی انسانی. (مومنی ۱۳۹۵)

³ Absolute priorities method

هزینه تمام شده هر یک از مواد اولیه تا ورودی سنگ شکن به عنوان ضرایب تابع هدف در نظر گرفته شده است. هزینه های ثابت ، بخش دیگری از کل هزینه کل هستند که در تابع هدف لحاظ نمی شوند ، زیرا این قبیل هزینه ها در یک دوره زمانی مشخص وابسته به میزان تولید (حاصل از اختلاط مواد) نیستند. متغیرهای توابع هدف (X_j) نیز هر یک مبین درصد وزنی یکی از مواد اولیه می باشد.

محدودیت های عملیاتی تعریف شده برای مدل مذکور عبارتند از :

- تغییرات شیمیایی هر یک از مواد اولیه ، بین دو حد بالا و پایین از آنالیز مجاز برای تولید تیپ سیمان مورد نظر محدود گردیده است.
- میزان مجاز تغییرات مدول های پخت ، بین دو حد بالا و پایین متناسب با تیپ سیمان مورد نظر محدود گردیده است.
- مجموع متغیرهای تابع هدف برابر با یک (۱۰۰٪) در نظر گرفته شده است.

۳- یافته ها

مطابق با آنچه که ذکر شد ، مدل مذکور ، برای اطمینان بیشتر با استفاده از نرم افزارهای قدرتمند DS و lingo مدلسازی گردید که نتایج هر دو نرم افزار مطابق با نتایج اولیه و موید یکدیگر بودند. در مرحله بعد ، مدل مذکور برای تیپ های مختلف سیمان ، بازنویسی ، اجرا و تحلیل حساسیت گردید و در نهایت نتایج نهایی مدل ها در عمل نیز بصورت موفقیت آمیزی مورد آزمایش قرار گرفت. برای نمونه ، جداول ۱ و ۲ شرایط قبل و بعد از مدلسازی اختلاط مواد خام برای تولید سیمان تیپ ۲ را نشان می دهد:

مواد اولیه مصرفی								آنالیز تجمعی			
	آهک	واریزه ۲	واریزه انفجاری	خاک دیو	خاک پلیکان	سیلیس	سنگ آهن	گچ	آنالیز تجمعی	مدول تجمعی	
SiO ₂	2	19.4		25.5	25.2	75	20	4.5	14.10	LSF	92.51
Al ₂ O ₃	0.7	5.4		6.4	6.5	3	3.4	2.8	3.68	SIM	2.15
Fe ₂ O ₃	0.7	1.5		2.88	2.2	2.5	55	0.7	2.89	ALM	1.27
CaO	51.0	39.0		36.2	36.0	9.0	7.0	29.0	42.29		
تناژ مصرفی	13800	1200		4200	9900	0	750	150	30000		مقدار پائل
در صد مصرفی	46.00	4.00	0.00	14.00	33.00	0.00	2.50	0.50	C3A		7.53
									C3S		54.22
قیمت مواد	39000	25000	31900	35310	25000	248740	363460	123640			

جدول ۱ - شرایط طرح اختلاط قبل از انجام مدل سازی مواد خام برای تولید سیمان تیپ ۲

مواد اولیه مصرفی									آنالیز تجمعی		
	آهک	واریزه ۲	واریزه انفجاری	خاک دپو	خاک پلیکان	سیلیس	سنگ آهن	گچ	آنالیز تجمعی	مدول تجمعی	
SiO ₂	2	19.4	20	25.5	25.2	75	20	4.5	14.10	LSF	92.60
Al ₂ O ₃	0.7	5.4	5.8	6.4	6.5	3	3.4	2.8	3.68	SIM	2.15
Fe ₂ O ₃	0.7	1.5	3	2.88	2.2	2.5	55	0.7	2.89	ALM	1.27
CaO	51.0	39.0	38.0	36.2	36.0	9.0	7.0	29.0	42.32		
تناژ مصرفی	14148	0	126	0	14934	0	792	0	30000	مقدار پابل	
در صد مصرفی	47.16	0.00	0.42	0.00	49.78	0.00	2.64	0.00	C3A	7.54	
									C3S	54.43	
قیمت مواد	39,000	25,000	31,900	35,310	25,000	248,740	363,460	123,640			

قیمت هر تن پابل قبل از مدلسازی	41,838
قیمت هر تن پابل پس از مدلسازی	40,567

درصد اختلاف قیمت	3
------------------	---

جدول ۲- شرایط طرح اختلاط پس از انجام مدل سازی موادخام برای تولید سیمان تیپ ۲

نتایج فوق ، نشان دهنده مدلسازی اختلاط یک پابل ۳۰ هزارتنی ، بدون تغییر در وضعیت کیفیت و مدول های پخت و تنها با تغییر درصدهای وزنی مواد می باشد که منجر به کاهش ۳ درصدی قیمت تمام شده پابل گردیده است که به مفهوم صرفه جویی سالیانه به میزان بیش از ۳ میلیارد ریال در بخش تامین مواد اولیه کارخانه سیمان هگمتان می باشد.

در تحلیل حساسیت انجام شده ، مشخص گردید که با تغییر بازه مجاز مدول های پخت (در قسمت محدودیت های مدل) ، می توان کیفیت کلینکر تولیدی را افزایش و میزان قیمت تمام شده را کاهش بیشتری داد . این موضوع در جدول ۳ در زیر نشان داده شده است:

مواد اولیه مصرفی									آنالیز تجمعی		
	آهک	واریزه ۲	واریزه انفجاری	خاک دپو	خاک پلیکان	سیلیس	سنگ آهن	گچ	آنالیز تجمعی	مدول تجمعی	
SiO ₂	2	19.4	20	25.5	25.2	75	20	4.5	13.60	LSF	96.32
Al ₂ O ₃	0.7	5.4	5.8	6.4	6.5	3	3.4	2.8	3.69	SIM	2.12
Fe ₂ O ₃	0.7	1.5	3	2.88	2.2	2.5	55	0.7	2.73	ALM	1.35
CaO	51.0	39.0	38.0	36.2	36.0	9.0	7.0	29.0	42.58		
تناژ مصرفی	13464	0	6267	0	9681	0	588	0	30000	مقدار پابل	
در صد مصرفی	44.88	0.00	20.89	0.00	32.27	0.00	1.96	0.00	C3A	8.00	
									C3S	62.25	
قیمت مواد	39,000	25,000	31,900	35,310	25,000	248,740	363,460	123,640			

قیمت هر تن پابل قبل از مدلسازی	41,838
قیمت هر تن پابل پس از مدلسازی	39,358

درصد اختلاف قیمت	5.9
------------------	-----

جدول ۳- شرایط طرح اختلاط پس از انجام مدل سازی موادخام با تغییر در محدودیت های مدول های پخت

با مقایسه جدول ۱ و ۳، علاوه بر کاهش قیمت پایل و افزایش کیفیت کلینکر، شاهد نکته مهم دیگری نیز هستیم که به وضوح نقش برجسته مدلسازی را در فرآیند تصمیم‌گیری‌های چند هدفه نشان می‌دهد: در طرح اختلاط اولیه و قبل از انجام مدلسازی (جدول ۱)، به دلیل گران بودن واریزه انفجاری که تامین آن مستلزم آتشیاری می‌باشد، مقدار استفاده از این ماده صفر در نظر گرفته شده بود، لیکن مدل، نسبت به تخصیص سهم ۲۰ درصدی برای ماده مذکور اقدام نموده است (جدول ۳) و این موضوعی است که ممکن است در شرایط عادی از دید تصمیم‌گیرندگان که بعضاً تنها هزینه‌های هریک از مواد را در نظر می‌گیرند، مخفی بماند.

در اینجا برای اختصار، از تشریح نتایج سایر مدل‌هایی که برای انواع دیگر سیمان طراحی گردیده است خودداری می‌شود، لیکن نتایج مربوطه نشان می‌دهد، کاهش قیمت تمام شده مواد اولیه به میزان ۶ الی ۸ درصد امری مسجل خواهد بود.

۴- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات:

استفاده از مدل مذکور دارای مزایای ویژه‌ای خواهد بود که از جمله عبارتند از:

- در اختیار گزاردن ابزاری قوی برای تصمیم‌گیری مدیران، هنگامی که همزمان در برابر چند هدف قرار دارند.
- محاسبه بصره‌ترین قیمت تمام شده مواد اولیه تشکیل دهنده هر نوع سیمان قبل از تولید آن
- محاسبه نرخ دقیق استخراج و تحویل مواد خام مورد انتظار، بصورت مقرون بصره و نیز شناسایی تامین‌کنندگان مواد اولیه متناسب با مواد پیشنهاد شده توسط مدل از حیث قیمت و نوع و ارائه مشاوره‌های لازم به واحدهای بازرگانی برای مشخص نمودن مناسب‌ترین قیمت در قرارداد های ذریبط
- جهت دهی به برنامه استخراج معادن کارخانجات و متعاقب آن گسترش فعالیت های اکتشافی جدید در راستای تامین مواد اولیه پیشنهادی مدل

در برخی از موارد، مدل‌های چندهدفه دارای جواب بهینه نیستند. زیرا اهداف باهم در تضاد بوده و بهینگی یکی، باعث دور شدن هدف دیگر از مقدار بهینه اش خواهد شد. بنابراین جواب بهینه در مدل‌های چندهدفه لزوماً مترادف با بهینه شدن همه توابع هدف نیست. بطور مثال در برخی کارخانجات، کاهش قیمت تمام شده در بخش اختلاط مواد خام و استفاده از برخی مواد اولیه که مدل آن را توصیه کرده است، ممکن است منجر

به افزایش هزینه های دیگر مانند هزینه انرژی و استهلاک ناشی از سایش بیشتر در دپارتمان آسیاب مواد گردد. عواملی همچون محدودیت های عملیاتی مختلف در هریک از کارخانجات و مهارت مدلساز در شناسایی مسئله و نیز قدرت تبیین و حل مدل ، تاثیر بسزایی در یافتن جواب بهینه خواهد داشت. استفاده از روش برنامه ریزی آرمانی^۴ که انحراف از اهداف ایده آل را تا حد معینی مجاز می داند و انعطاف پذیری بیشتری در فرآیند تصمیم گیری اهداف چندگانه و بعضاً متضاد ایجاد می کند ، می تواند به رفع مشکل مذکور بیانجامد که پیشنهاد می شود به عنوان موضوع پژوهشی جدید برای سایر محققان صنعت سیمان مدنظر قرار گیرد.

همچنین ، ارائه یک مدل جامع بهینه سازی قیمت تمام شده که تمامی محدودیت های عملیاتی را در تمامی دپارتمان ها ، از سنگ شکن تا بارگیرخانه دربرگیرد ، می تواند از جمله موضوعات جدید برای پژوهش های آتی باشد.

ذکر این نکته ضروری است که اجرای مدل در عمل ، نیازمند پیش زمینه هایی همچون روش های صحیح نمونه برداری از مواد ، واریانس مناسب در آنالیز نمونه ها (به نحوی که بتوان آنالیز بدست آمده از نمونه ها را با ضریب اطمینان مناسب به کل پایل تعمیم داد) ، کالیبره بودن دستگاه های آنالایزر و اطمینان از صحت آنالیز اندازه گیری شده از یک طرف و عملکرد صحیح تجهیزات توزین ، سنگ شکن و استاکر و ریکلایمر جهت ایجاد پایل همگن از سوی دیگر است.

و دست آخر اینکه ، با توجه به رکود اقتصادی در صنعت سیمان و رقابت تنگاتنگ کارخانجات بر روی سهم بازار بیشتر، طراحی ، اجرا و بسط چنین مدل هایی در همه ارکان تصمیم گیری ، می تواند به کاهش قیمت تمام شده ، افزایش حاشیه سود و ایجاد مزیت رقابتی نسبی منتهی گردد.

⁴ Goal programming