

بررسی مقایسه‌ای تحلیل داده‌ها در شش سیگما، با کمک ابزارهای آماری و فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه

عادل آذر^{۱*}، سید حیدر میرفخرالدینی^۲، علی اصغر انواری رستمی^۳

۱- دانشیار گروه مدیریت، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- دانشجوی دکترای مدیریت صنعتی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- دانشیار مرکز مطالعات و بهره‌وری ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

پذیرش: ۸۶/۴/۱۰

دریافت: ۸۵/۸/۲۷

چکیده

امروزه شش سیگما به عنوان یک رویکرد کارا و اثربخش حل مسأله شناخته شده است، رایجترین متدولوژی در شش سیگما، متدولوژی DMAIC است که شامل پنج مرحله تعریف مسأله، اندازه‌گیری و سنجش، تحلیل، بهبود و کنترل می‌باشد. یکی از مهمترین ارکان متدولوژی شش سیگما استفاده از تکنیکها و روشهای آماری متعدد به منظور تحلیل داده‌ها و شناسایی علل ریشه‌ای معایب می‌باشد. به عبارت دیگر یکی از نقاط قوت این روش در مقابل سایر رویکردهای بهبود، استفاده از روشهای آماری می‌باشد. به گونه‌ای که در فاز تحلیل با استفاده از ابزارهای آماری می‌توان میزان تأثیر علل بالقوه را بر عوامل بحرانی کیفیت سنجش کرد. براساس بررسی پژوهشهای انجام شده تاکنون دسته‌بندیهای متعددی از فنون آماری و جایگاه کاربردی آزمونهای آماری در فاز تحلیل شش سیگما ارائه شده است، که به طور عمده به دو دسته پارامتریک و ناپارامتریک تقسیم می‌شوند.

هدف این پژوهش در مرحله اول شناسایی دقیق نارساییها و کمبودهای ناشی از به کارگیری آزمونهای آماری در فاز تحلیل شش سیگما و در مرحله دوم ارائه راهکار برای برطرف کردن موانع با استفاده از فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه (MADM) در فضای تحقیق عملیات می‌باشد. با توجه به نتایج این پژوهش سه دسته از موانع و مشکلات اصلی حاصل از به کارگیری آزمونهای



آماري عبارتند از: شرایط استفاده از فنون آمار پارامتریک مهيا نباشد، حجم داده‌ها بسيار کم باشد و يا هيچ آزمون فرض مناسبی برای تصدیق علل ریشه‌ای وجود نداشته باشد. در این پژوهش با هدف برطرف کردن نقایص موجود، به مطالعه منابع علمی معتبر در زمینه فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه و بررسی انواع دسته‌بندی آن فنون پرداخته شد. در نهایت مدل و الگوریتم جدیدی برای به‌کارگیری فنون MADM در فاز تحلیل شش سیگما ارائه شد: در الگوریتم ارائه شده به ویژگیهای تصمیم گیرنده، مشخصات تکنیکهای MADM، ویژگیهای مسأله و معیارهای مربوط به جواب به‌دست آمده نیز توجه کافی شده است. در ادامه مقاله نتایج حاصل از به‌کارگیری بخشی از الگوریتم و مدل پیشنهادی در یک شرکت صنعتی ارائه گردیده است که تأییدی است بر پوشش خلأهای موجود و راهکارهای جدید ارائه شده (در این مقاله در فاز تحلیل متدلوژی شش سیگما). در نهایت و در بخش مطالعه موردی از دو تکنیک رایج آنتروپی شانون و TOPSIS برای سنجش میزان تأثیر علل بالقوه بر عوامل بحرانی کیفیت استفاده شد که نتایج آن با روشهای آماری مقایسه شده است، نتایج نشان می‌دهد که استفاده از روش MADM علاوه بر تعیین وزن هر علل بالقوه، رتبه‌بندی کاملی نیز از علل بالقوه به نسبت میزان تأثیر آنها بر CTQها ارائه می‌کند.

کلید واژه‌ها: شش سیگما، تصمیم‌گیری چند شاخصه، آمار پارامتریک، آمار ناپارامتریک.

۱- مقدمه

نام و ایده آغازین شش سیگما^۱ به بیل اسمیت^۲ نسبت داده می‌شود. او که در دهه هفتاد و هشتاد میلادی به عنوان مهندس ارشد کیفیت و قابلیت اطمینان در شرکت موتورولا به فعالیت مشغول بود، اکنون پدر شش سیگما نام دارد. بیل اسمیت با مشاهده افزایش نرخ خطا در نتیجه افزایش پیچیدگی محصولات و اضافه شدن بر تعداد قطعات آنها به ناکارآمد بودن سطح کیفیت سه سیگما در فرایند تولید (از متدلوژی کنترل فرایند آماری) پی برد و با تلفیق مفاهیم قابلیت اطمینان و تکنیکهای مهندسی کیفیت، ایده اولیه شش سیگما را مطرح کرد. متدلوژی شش سیگما برای حل مشکلات ریشه‌ای و مرموز استفاده می‌شود. هرچه سطح شش سیگما بالاتر رود، یک افزایش نمایی در کاهش نقصها ایجاد می‌شود. رسیدن به سطح شش سیگما یک چشم‌انداز است و هنوز شرکت‌های مطرح در استفاده از این روش، قادر به دستیابی به

1. Six Sigma
2. Bill Smith

سطح شش سیگما نبوده‌اند [۱، ص ۴]. در هر حال افزایش سطح سیگما منجر به ایجاد بهبودهای چشمگیر در افزایش کیفیت و کاهش هزینه‌های سازمان شده و بهبود مستمر را به نحوی مطمئن پایه‌ریزی کرده است. فلسفه شش سیگما براساس کاهش نوسانها و تغییرات پایه‌گذاری شده است. یکی از مباحث اصلی در این متدولوژی، تصمیم‌گیری و قضاوت در خصوص علت اشکالات و نقایص به‌وجود آمده در پروژه‌های تعریف شده می‌باشد.

۲- مفهوم شش سیگما

تا کنون متخصصان شش سیگما، تلاش‌های زیادی برای دستیابی به تعریف جامع و کاملی از این رویکرد انجام داده‌اند، که برخی از تعریفهای مهم و رایج ارائه شده به شرح زیر می‌باشد.

۱-۲- تعریف بری فوگل^۱

شش سیگما در حقیقت تلفیقی هوشمندانه از دانش و آگاهی سازمان با تکنیکهای کارای آماری برای بهبود کارایی و اثربخشی سازمان و همچنین برآورده‌سازی الزامات حقیقی مشتری می‌باشد [۲].

۲-۲- تعریف استی ماتیس^۲

بیشترین انتظاری که از رویکرد شش سیگما می‌رود، این است که به فرایندهای موجود برای دستیابی به آرمانهای سازمان شتاب دهد. این متدولوژی کمک خواهد کرد که مجموعه‌ای از ذهنیتها با تأکید بر موارد زیر در سازمان شکل گیرد:

الف) تفکر تیمی و گروهی؛

ب) ایجاد مهارت و تخصص؛

ج) تصمیم‌گیری بر مبنای داده‌ها و واقعیات؛

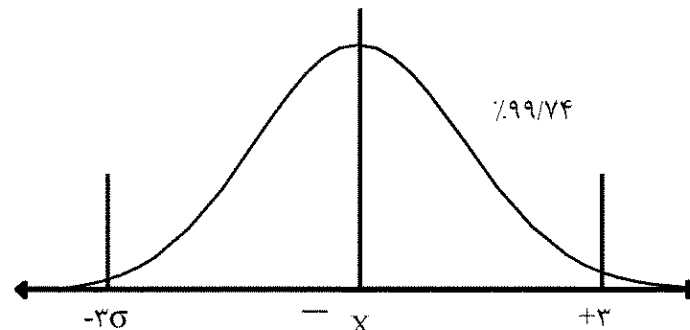
د) اندازه‌گیری مستمر نتایج و مقایسه با سازمانهای الگو؛

ه) تعهد زیاد مدیریت ارشد [۳، صص ۷۵-۷۷].

1. Breyfogle
2. Stamatis

۳-۲- تعریف گیت لا و لوین^۱

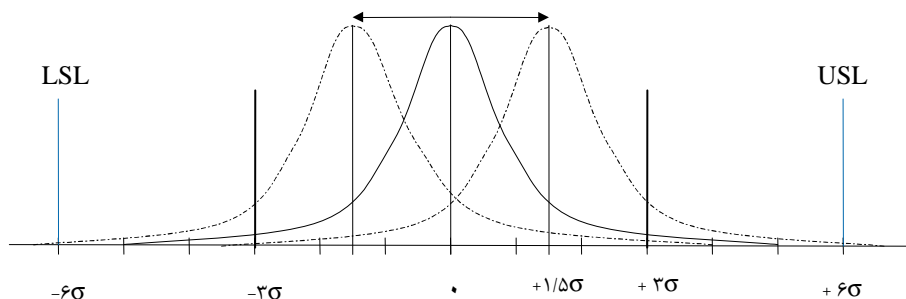
شش سیگما، یعنی پیگیری مجدانه و سخت‌کوشانه برای کاهش انحرافات در تمام فرایندهای حساس و مهم در راستای دستیابی به بهبود جهشی و مستمر، به گونه‌ای که این بهبودها تأثیرگذار بر تمام سطوح زمانی باشد و در نهایت رضایتمندی مشتریان را افزایش دهد [۴، ص ۱۵]. همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، سطح سه سیگما بیان‌کننده محدوده‌ای از مقادیر متغیرهای تصادفی با توزیع نرمال می‌باشد که انتظار می‌رود ۹۹/۷۴٪ از کلیه مقادیر در محدوده سه سیگما از دو طرف مقدار میانگین جامعه آماری قرار گیرد.



شکل ۱ فرایند در سطح سه سیگما

در صورتی‌که فرایند در سطح سه سیگما انجام شود، نرخ ایرادات برابر با ۰/۲۷٪ یا ۲۷۰۰ نقص در هر میلیون واحد تولید شده خواهد بود. در این حالت با تغییر میانگین فرایند، به اندازه ۱/۵ انحراف معیار (سیگما) که طبق نظر بیل اسمیت جزء ماهیت هر فرایند می‌باشد، تنها ۹۳/۳۲٪ از سطح زیر منحنی در حدود مشخصه محصول قرار خواهند گرفت و این به معنای وجود ۶۸۰۰۰ عیب در هر میلیون محصول می‌باشد، این تغییر در شکل ۲ به نمایش گذاشته شده است. $[100000 * (1 - 0.9333)]$.

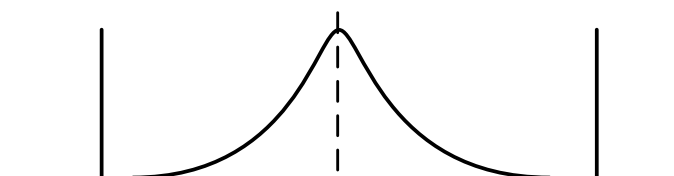
1) Gitlow and Levin



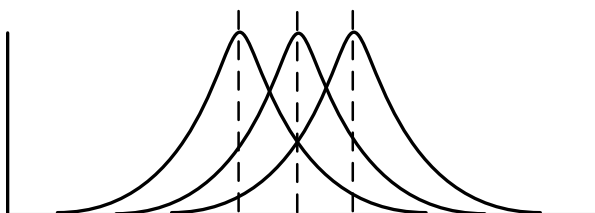
شکل ۲ فرایند سه سیگما با انتقال $+1/5$ - انحراف معیار (سیگما) از میانگین فرایند

بنابراین باقی ماندن در سطح سه سیگما، ایجاد محصول بدون عیب را تضمین نمی‌کند [۴]، صص ۱۸-۲۱؛ ۹۵؛ ۴ صص ۱۸-۲۱].

حال مطابق با شکل ۳ و ۴ اگر فرایند در سطح شش سیگما تعریف شود، قابلیت فرایند به اندازه‌ای افزایش پیدا می‌کند که در صورت انتقال میانگین فرایند در طول زمان براساس شرایط تولید، به اندازه $1/5$ سیگما از مقدار اولیه میانگین، تنها $3/4$ محصول معیوب، در هر میلیون واحد محصول ایجاد می‌شود: [۱؛ ۲؛ ۳؛ ۴؛ ۵؛ ۶].



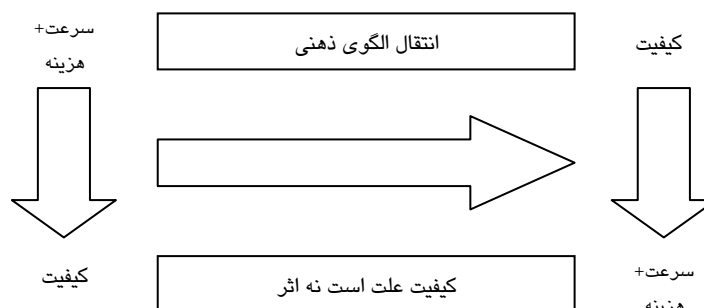
شکل ۳ فرایند در سطح شش سیگما



شکل ۴ فرایند شش سیگما با انتقال $+1/5$ - انحراف معیار (سیگما) از میانگین



در نهایت آنچه که بیش از هر چیز موجب استقبال مدیران از به‌کارگیری این متدولوژی شده است، ایجاد یک انتقال الگوی ذهنی در مورد افزایش کیفیت محصولات و خدمات سازمان می‌باشد. برخلاف نظریه‌های قبلی که کاهش سرعت تولید و افزایش هزینه را عامل بهبود کیفیت می‌دانستند، در نظریه جدید بهبود کیفیت موجب افزایش سرعت تولید و کاهش هزینه‌های تولید می‌شود. بنا براین اساس می‌توان گفت که کیفیت علت است نه اثر. مفاهیم فوق را می‌توان در شکل ۵ نشان داد.



شکل ۵ پارادایم فلسفه شش سیگما

۳- متدولوژی DMAIC^۱ در شش سیگما

متدولوژی DMAIC یک متدولوژی عمومی شش سیگما می‌باشد و بر مبنای پنج فاز تعریف مسأله، اندازه‌گیری و سنجش، تحلیل، بهبود و کنترل تعریف شده است.

• **فاز تعریف:** در این مرحله نیازها و خواسته‌های مشتریان و نیازمندیهای فنی و تکنیکی فرایند بیان شده، محصولات و فرایندهایی که باید بهبود یابند، مشخص می‌شوند.

• **فاز اندازه‌گیری و سنجش:** در این مرحله عملکرد مورد انتظار فرایند و وضعیت فعلی فرایند مشخص می‌شود. متغیرهای ورودی و خروجی فرایند تعریف می‌شوند و سیستمهای اندازه‌گیری، ارزیابی می‌شوند. در این مرحله متغیر وابسته (Y) یا عوامل بحرانی کیفیت

1. DMAIC: Define, Measure, Analyze, Improvement, Control

(CTQ)^۱ اندازه‌گیری می‌شود.

• **فاز تحلیل:** در فاز تحلیل با استفاده از داده‌ها مهمترین عوامل ورودی و درونی فرایند که بر خروجیهای فرایند تأثیرگذار هستند، مشخص می‌شوند.

• **فاز بهبود:** در این مرحله فعالیتهای و بهبودهایی که منجر به بهینه‌سازی خروجیهای فرایند و حذف کاهش خرابی و تغییرات در فرایند می‌شوند، شناسایی می‌شوند. در این فاز متغیرهای X شناخته شده در فاز تحلیل که در رابطه با $Y=F(X)$ تعیین شده‌اند، بهبود یافته و عملکرد فرایند جدید ارزیابی می‌شود.

• **فاز کنترل:** در فاز کنترل، دست‌آوردهای حاصل از بهبودهای ایجاد شده، مستند و نظارت می‌شوند و مسئولانی برای پیگیری این یافته‌ها تعیین می‌شوند [۲، صص ۵۲-۶۵؛ ۱۲۰-۱۲۹؛ ۴، صص ۶۱-۹۲].

۴- بسط و توسعه فاز تحلیل

در فاز تحلیل علل ریشه‌ای بالقوه با توجه به تأثیراتی که بر عوامل بحرانی کیفیت (CTQs) می‌گذارند، شناسایی، تعریف و اولویت‌بندی می‌شوند (علل ریشه‌ای بالقوه، متغیرهای مستقل یا X ها و عوامل بحرانی کیفیت - CTQ - متغیرهای وابسته نامیده می‌شوند). اعضای تیم شش سیگما سعی دارند تا تعداد X ها یا علل بالقوه را که تأثیرات کمتری بر عوامل بحرانی کیفیت دارند، کاهش دهند مراحل اصلی فاز تحلیل را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

الف- اجرای تجزیه و تحلیل جزئی فرایند؛

ب- شناسایی منابع تغییرات؛

ج- شناسایی و تعریف علل ریشه‌ای بالقوه (X ها) از طریق تحلیل‌های علت و معلولی؛

د- تصدیق علل ریشه‌ای با استفاده از تحلیل‌های آماری [۷].

در مرحله تجزیه و تحلیل جزئی فرایند با استفاده از تکنیکهای مختلف مانند فلوچارت پایه، فلوچارت فعالیت، فلوچارت جاری سازی و ... به دنبال تحلیل فرایند، برای آشکارسازی مشکلات و عملکرد فرایند می‌باشیم. سپس در مرحله شناسایی منابع تغییرات و تعریف علل ریشه‌ای به تعریف و شناسایی X های مرتبط با هر CTQ یا عوامل بحرانی کیفیت پرداخته می‌شود. برای تعریف

1. CTQ: Critical, To, Quality



X ها (علل ریشه‌ای بالقوه) از روشهای متفاوتی مانند تکنیک طوفان مغزی^۱، دیاگرام علت و معلول^۲، ماتریس علت و معلول^۳، ابزارهای کنترل کیفیت و ... استفاده می‌شود. معمولاً خروجی تحلیلهای علت و معلولی به صورت توابعی به شکل زیر بیان می‌شود [۴، ص ۱۴۶].

$$CTQ_1 = F(X_1, X_2, X_3, \dots)$$

$$CTQ_2 = F(X_5, X_6, X_7, \dots)$$

$$CTQ_3 = F(X_8, X_9, X_{10}, \dots)$$

علل بالقوه (X_i ها) در توابع فوق معمولاً به عنوان متغیر مستقل، متغیر ورودی فرایند و علت تأثیرگذار مسأله بیان می‌شوند و باید کنترل شوند؛ در حالی که عوامل بحرانی کیفیت، به عنوان متغیر وابسته، متغیر خروجی فرایند و آثار به دست آمده از مسأله بیان می‌شوند و باید به وسیله تیم شش سیگما نظارت شوند.

در نهایت در این مرحله علل ریشه‌ای بالقوه که شناسایی شده‌اند، باید با استفاده از تحلیلهای آزمونهای آماری تصدیق و تأیید شوند تا بتوان از بین تعداد زیادی علل بالقوه کاندید شده تأثیرگذار بر عوامل بحرانی کیفیت، علت‌هایی را که تأثیر بیشتری بر عوامل بحرانی کیفیت دارند، شناسایی و اولویت بندی کرد و در راستای حل مسأله، آن علل بالقوه را کنترل کرد.

۴-۱- تحلیل آماری در شش سیگما

زمانی که داده‌ها یا واقعیات، دسته‌بندی و خلاصه می‌شوند، باید این داده‌ها تفسیر و ارائه شده و به گونه‌ای کارا، ارتباط بین آنها مشخص شود تا بتوان در تصمیم‌گیریها از این اطلاعات استفاده کرد. روشهای آماری حل مسأله به سؤالهای زیادی در مورد فرایند پاسخ می‌دهند. فاز اندازه‌گیری و تحلیل شامل طراحی برنامه‌های جمع‌آوری داده، اجرای عملیات جمع‌آوری داده و سپس استفاده از این داده‌ها برای توصیف فرایند و تصدیق علل ریشه‌های بالقوه می‌باشد [۵، ص ۱۵۸].

-
1. Brain storming
 2. Cause and effect diagram
 3. Cause and effect matrix

پیش از به کارگیری انواع فنون آماری لازم است که انواع مختلف داده‌ها شناسایی شود. نوع داده‌ای که به عنوان ورودیها و عوامل فرایندی (X ها) یا خروجیهای فرایند (Y ها) جمع آوری می‌شود، تعیین می‌کند که از چه آماره یا تحلیلی می‌توان استفاده نمود. داده‌ها دو نوع هستند: متغیر^۱ یا مشخصه^۲. برای طبقه‌بندی داده‌ها، روش دیگری هم وجود دارد که در آن داده‌ها یا پیوسته هستند یا گسسته [۸، ص ۱۳۵]. به طور خلاصه داده‌های کمی دارای دو مقیاس نسبی و فاصله‌ای و داده‌های کیفی شامل دو مقیاس اسمی و رتبه‌ای می‌باشند.

در شش سیگما با توجه به نوع داده‌ها، نوع متغیرهای مستقل و وابسته، تعداد جوامع یا نمونه‌های مورد مقایسه، تعداد متغیرهای وابسته و ...، آزمون فرضهای آماری مورد نیاز و تکنیکهای استفاده شده در فاز تحلیل شش سیگما به صورتهای متفاوتی دسته‌بندی و ارائه شده‌اند، که رایجترین آنها در جدولهای زیر ارائه شده است.

در جدول ۱ آزمونهای فرض پارامتریک و ناپارامتریک مناسب در فاز تحلیل شش سیگما، با توجه به ماهیت متغیر وابسته و مستقل اعم از اینکه این متغیرها دارای ماهیت پیوسته و یا گسسته (تعریف شده به صورت شاخص) هستند، دسته‌بندی شده‌اند. همچنین در جدول ۲ آزمونهای مناسب فاز تحلیل شش سیگما با توجه به نوع متغیرها و تعداد مقایسات در جوامع آماری دسته‌بندی شده‌اند.

جدول ۱: انتخاب تکنیک های آماری با توجه به نوع متغیر مستقل و وابسته
Y (متغیر وابسته)

X (متغیر مستقل)	Variable - continue	Attribute - Discrete
	t-test ANOVA DOE Regression	Proportion test Chi – square
	Variable - continue	Discrimantal Logistic Regression

1. Variable
2. Attribute



جدول ۲ Choosing the Correct Statistical Test

Number of Dependent* Variables	Number of Independent** Variables	Type of Dependent Variable(s)	Type of Independent Variable(s)	Measure	Test(s)
۱	(۱ population)	Continuous normal	Not applicable (none)	Mean حجم داده‌ها کافی است	t-test one-sample
				حجم داده‌ها کافی است	---none ---
		Continuous non-normal		Median حجم داده‌ها کافی است	one-sample median
				حجم داده‌ها ناکافی	--- none ---
		Categorical		Proportions حجم داده‌ها کافی است	Chi Square goodness-of-fit, binomial test
				حجم داده‌ها ناکافی است	--- none ---
	(۲ independent populations)	Normal	۱categories	Mean حجم داده‌ها کافی است	independent sample t-test
				حجم داده‌ها کافی است	--- none ---
		non-normal		median حجم داده‌ها کافی است	Mann Whitney, Wilcoxon rank sum test
				حجم داده‌ها کافی است	--- none ---
		Categorical		Proportions حجم داده‌ها کافی است	Chi square test Fisher's Exact test
				حجم داده‌ها کافی است	--- none ---
	(۱ population measured twice) or ۱ (۲ matched populations)	Normal	not applicable/ categorical	Means حجم داده‌ها کافی است	paired t-test
				حجم داده‌ها ناکافی	--- none ---
		non-normal		Medians حجم داده‌ها کافی است	Wilcoxon signed ranks test
				حجم داده‌ها ناکافی	--- none ---
		Categorical		Proportions حجم داده‌ها کافی است	McNemar, Chi-square test
				حجم داده‌ها ناکافی	--- none ---
	۱ (۲or more populations)	Normal	Categorical	Means حجم داده‌ها کافی است	One-way ANOVA
				حجم داده‌ها ناکافی	--- none ---
		non-normal		Medians حجم داده‌ها کافی است	Kruskal Wallis
				حجم داده‌ها کافی است	--- none ---

۲-۴- دلایل و منطق استفاده از فنون MADM به جای فنون آماری در فاز تحلیل شش سیگما

در این بخش سعی می‌شود با بیان مسأله- که همان کمبودها و نارساییهای فنون آماری در فاز تحلیل شش سیگما است- به دلایل استفاده از فنون MADM به جای فنون آماری در شرایط خاص پرداخته شود.

۲-۴-۱- دلایل ناکارآمدی فنون آماری در برخی از شرایط خاص شش سیگما
در فاز تحلیل چرخه DMAIC تمام دغدغه تیم شش سیگما، شناسایی علل ریشه‌ای مسأله می‌باشد و به طور ذاتی تکیه بر تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از فنون رایج آماری دارد. به عبارتی دیگر یکی از نقاط قوت این روش در مقابل سایر رویکردهای بهبود (نظیر کایزن^۱، تولید ناب^۲ و ...) استفاده از روشها و آزمونهای آماری معتبر می‌باشد. پس اگر شرایط استفاده از فنون و آزمونهای آماری پارامتریک و معتبر برای تجزیه و تحلیل داده‌ها مهیا باشد (شرایط ارائه شده در جدول ۴)، به طور قطع اولویت اول برای انتخاب تکنیک، برای شناسایی علل ریشه‌ای فنون آماری خواهد بود. از طرفی اکثر روشهای آماری که در متدولوژی شش سیگما به وسیله نظریه پردازان این علم در متون اصلی معرفی شده‌اند بر مبنای فنون آمار پارامتریک است که نیازمند وجود داده‌های زیاد یا استفاده از توزیع نمونه‌گیری نرمال می‌باشد، روشهایی مانند تحلیل واریانس، رگرسیون، طراحی آزمایشات و سایر آزمونهای ارائه شده در جدولهای ۱ و ۲ و ۳ [۹]. اما با به کارگیری عملی این روش در صنعت و خدمات مشاهده می‌شود که موارد متعددی وجود دارد که امکان جمع‌آوری داده‌ها به تعداد کافی میسر نیست یا توزیع نمونه‌گیری داده‌ها (توزیع جامعه) دارای توزیع نرمال نبوده، در نتیجه به کارگیری این آزمونها دارای دقت و اطمینان کافی نمی‌باشد و باید چاره‌ای اندیشیده شود.

به طور خلاصه با توجه به ویژگی‌ها و مفروضات پذیرفته شده در آزمونهای فرض آماری دلایل عدم استفاده از فنون آماری در شرایط خاص زیر در فاز تحلیل شش سیگما

1. Kizen
2. Lean Production



بیان شده است:

الف) در فاز تحلیل متدلوژی شش سیگما زمانی که شرایط استفاده از فنون آمار پارامتریک مهیا نباشد (نرمال نبودن توزیع نمونه‌گیری)، بناچار از فنون آمار ناپارامتریک استفاده خواهد شد، از طرفی بنا به اظهار نظر صاحب‌نظران متدلوژی شش سیگما مانند مایکل هری^۱، پیزدک^۲، بری فوگل و استی‌ماتیس آزمونه‌ای فرض و فنون مربوط به آمار ناپارامتریک از قدرت^۳ و اطمینان کمتری نسبت به آزمون فرضهای آمار ناپارامتریک برخوردار هستند و این در حالی است که تعداد زیادی از آزمونه‌ای ارائه شده در متون اصلی و رایج متدلوژی شش سیگما، فنون و آزمونه‌ای ناپارامتریک می‌باشند.

ب) زمانی که حجم داده‌ها یا نمونه بررسی شده به اندازه کافی بزرگ نباشد، حتی اگر توزیع جامعه یا توزیع نمونه‌گیری نیز نرمال باشد، نمی‌توان از آزمون فرضهای ارائه شده در فضای آمار ناپارامتریک و حتی پارامتریک استفاده کرد.

به عنوان مثال در صنایعی همانند صنعت هواپیماسازی (که در سال حداکثر ۳ موتور جت ساخته می‌شود) اگر خواسته شود در فاز تحلیل شش سیگما، عوامل تأثیرگذار بر طولانی شدن مدت زمان ساخت محصول و همچنین میزان شدت تأثیرات هر یک از این عوامل بر مدت زمان ساخت محصول تعیین شود، استفاده از تحلیلهای آماری معرفی در متدلوژی شش سیگما که مستلزم در اختیار داشتن داده‌های زیادی می باشد دارای دقت کافی نمی‌باشد.

ج) در برخی از موارد، هیچ راهکار یا آزمون فرض پارامتریک یا ناپارامتریک برای تصدیق علل ریشه‌ای ارائه نشده است. به عنوان مثال زمانی که تعداد متغیر وابسته یک متغیر، تعداد متغیر مستقل دو عدد یا بیشتر، نوع متغیر وابسته غیر نرمال و نوع متغیر مستقل پیوسته باشد، هیچ آزمون فرضی متناسب با این شرایط وجود ندارد.

با توجه موارد ذکر شده فوق، در جدول ۳ با در نظر گرفتن ویژگیها و خصوصیات آزمونه‌ای آماری و نوع آزمون فرض مورد نیاز در فاز تحلیل شش سیگما، با تأکید بر کمبودها و نارساییهای فنون آماری در این فاز همراه با جزئیات کامل و برای تمام حالتها بیان شده است.

1. Michel Harry
2. Pizdek
3. Power

قابل توجه اینکه خانه‌های خالی (none) در ستون آزمونها (Test) و آزمونهای ناپارامتریک (که دقت کافی ندارند) که در جدول زیر با رنگ تیره نمایش داده شده اند بیانگر عدم وجود آزمون فرض متناسب با شرایط ارائه شده، می باشد.

جدول ۳ جمع‌بندی شرایط استفاده از آزمونهای آماری رایج، خلاصه و نارساییهای موجود آزمونها در فاز تحلیل شش سیگما

Number of Dependent* Variables		Number of Independent** Variables	Type of Dependent Variable(s)	Type of Independent Variable(s)	Measure	Test(s)
			Categorical		Proportions حجم داده‌ها کافی است	Chi square test
					حجم داده‌ها کافی است	---none---
	۲ or more (e.g., ۲-way ANOVA)	Normal	categorical	Means حجم داده‌ها کافی است	Factorial ANOVA	
				حجم داده‌ها کافی است	--- none ---	
		non-normal		Medians حجم داده‌ها کافی است	Friedman test	
				حجم داده‌ها ناکافی	--- none --	
		Categorical		Proportions حجم داده‌ها کافی است	log-linear, logistic regression	
				حجم داده‌ها کافی است	--- none --	
	(۱ population measured ۲ or more times)	Normal	not applicable	Means حجم داده‌ها کافی است	Repeated measures ANOVA	
				حجم داده‌ها ناکافی	---none---	
	۱	Normal	continuous		correlation simple linear regression	
		non-normal			non-parametric correlation	
		Categorical	categorical or continuous	Logistic regression		
			continuous	discriminant analysis		
	۲ or more	normal	continuous		multiple linear regression	
		non-normal	mixed categorical and continuous			-- none ---
		categorical				Logistic regression
		normal				Analysis of Covariance General Linear Models (regression)
		non-normal				--- none ---
		categorical				Logistic regression



ادامه جدول ۳

Number of Dependent* Variables	Number of Independent** Variables		Type of Dependent Variable(s)	Type of Independent Variable(s)	Measure	Test(s)
۲	۲ or more	normal		categorical		MANOVA
۲ or more	۲ or more	normal		continuous		multivariate multiple linear regression
۲ sets of ۲ or more	۰	normal		not applicable		canonical correlation
۲ or more	۰	normal		not applicable		factor analysis

* Outcome

** Predictor

۴-۲-۲- دلیل کارامدی فنون MADM^۱ برای جایگزینی فنون آماری در شرایط خاص

با توجه به دلایل بیان‌شده، مبنی بر عدم کارایی فنون آماری در شرایط خاص مذکور (خانه‌های رنگی جدول فوق)، یعنی زمانی که شرایط استفاده از فنون آمارپارامتریک مهیا نیست، حجم داده‌ها بسیار کم باشد یا اصولاً هیچ.

آزمون فرضی برای تصدیق علل ریشه‌ای وجود نداشته باشد، بدیهی است تنها راهکار برای تصدیق علل ریشه‌ای مسأله، استفاده از تجربه، تخصص و مهارت‌های فنی و تکنیکی می‌باشد که از جهات مختلف با مسأله و پروژه درگیر هستند. به عبارتی دیگر در خصوص تصدیق علل ریشه‌ای و اولویت‌بندی این علل با تکیه بر اطلاعات متخصصان فنون تصمیم‌گیری راهکار بسیار مناسبی می‌باشد.

در بسیاری از موارد، نتایج حاصل از تصمیم‌گیری، تنها هنگامی مطلوب است و موجب رضایتمندی تصمیم‌گیرنده می‌شود که تصمیم‌گیری بر اساس چند ضابطه صورت گرفته باشد. در مدل‌هایی مانند برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی عدد صحیح، تخصیص و تعداد زیادی از مدل‌های کلاسیک تحقیق در عملیات، فقط یک ضابطه مانند سود، زیان، هزینه، زمان و غیره مورد توجه قرار می‌گیرد، حال آنکه در مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره^۲ (MCDM) و چند شاخصه^۳ (MADM) برای تعیین بهترین گزینه، چند معیار به‌طور همزمان مورد استفاده می‌شوند. ضوابط می‌توانند کمی یا کیفی بوده و یا باهم قابل مقایسه نباشند. در برخی از

1. Multiple Attribute Decision Making
2. Multiple Criteria Decision Making
3. Multiple Attribute Decision Making

مسائل حتی می‌توانند باهم متضاد باشند. تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه معمولاً به دنبال گزینه‌ای است که تاحد امکان بیشترین مزیت را برای تمامی معیارها ایجاد کند. با توجه به مفروضات^۱ فنون تصمیم‌گیری، فنون تصمیم‌گیری چند معیاره به دو دسته فنون تصمیم‌گیری چند هدفه^۲ فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه تقسیم می‌شود؛ به‌طوری‌که مدل‌های چند هدفه به‌طور عمده مدل‌های سخت بوده و به‌منظور طراحی به‌کار گرفته می‌شوند در حالیکه مدل‌های چند شاخصه بمنظور انتخاب گزینه‌های برتر و عموماً اولویت‌بندی آنها استفاده می‌گردند [۱۰، صص ۱-۱۳].

باتوجه توضیحات فوق و براساس سه منطق ارائه شده در بخش متدلوژی این تحقیق می‌توان از فنون MADM استفاده کرد.

هدف اصلی این پژوهش ارائه راهکارهایی برای غنی‌سازی فاز تحلیلی شش سیگما با ابزارهای جدید مبتنی بر روشهای تصمیم‌گیری چند شاخصه برای جایگزینی آزمونه‌ای آماری ناکارآمد بوده و در نهایت به دنبال پوشش خلأهای موجودی که این آزمونه‌ای آماری در فاز تحلیل شش سیگما جوابگوی آن نیستند، می‌باشد. به‌عنوان نمونه، این پژوهش درصدد آن است راهکارهایی ارائه کند تا امکان تحلیل مسائلی با داده‌های ناکافی و کم را فراهم گرداند و روشهایی ارائه شود که دقت و اطمینان بیشتری نسبت به آزمونه‌ای ناپارامتریک و حتی گاهی اوقات پارامتریک داشته باشد.

۵- متدلوژی حل مسأله

در این پژوهش رویکرد اصلی حل مسأله، به‌کارگیری فنون MADM برای رفع نارساییها و کمبودهای آزمون آماری رایج به‌کار گرفته شده در فاز تحلیل شش سیگما می‌باشد. مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه به‌منظور انتخاب مناسبترین گزینه از بین m گزینه موجود به‌کار می‌روند. به‌طور کلی مبنای استفاده از فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه ایجاد ماتریس تصمیم یا استفاده از مقایسات زوجی گزینه‌ها می‌باشد. به عبارتی دیگر تصمیم‌گیری چند شاخصه معمولاً به‌وسیله ماتریسهای زیر فرموله می‌شود [۱۰].

1. Assumption

2. MODM Multiple Objective Decision Making



به‌طوری‌که A_i نشاندهنده گزینه i ام، X_j نشاندهنده شاخص j ام و R_{ij} ارزش شاخص j ام برای گزینه i ام یا بیانگر اولویت گزینه i ام به گزینه j ام می‌باشد [صص ۹-۱۲].

	X_1	X_2	X_3	X_4		A_1	A_2	A_3	A_4
A_1	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}	A_1	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}
A_2	R_{21}	R_{22}	R_{23}	R_{24}	A_2	R_{21}	R_{22}	R_{23}	R_{24}
A_3	R_{31}	R_{32}	R_{33}	R_{34}	A_3	R_{31}	R_{32}	R_{33}	R_{34}
A_4	R_{41}	R_{42}	R_{43}	R_{44}	A_4	R_{41}	R_{42}	R_{43}	R_{44}

۵-۱- تدوین معیارهای دسته‌بندی فنون MADM برای تصدیق و اولویت‌بندی علل

بالحقوه ریشه‌ای:

برای دسته‌بندی فنون MADM باید به ابعاد و معیارهای مؤثر بر انتخاب فنون MADM توجه کرد. انواع معیارهای مؤثر بر انتخاب و دسته‌بندی تکنیکهای MADM را می‌توان به شرح زیر بیان نمود [۱۳؛ ۱۴؛ ۱۵؛ ۱۶؛ ۱۷]:

الف- معیارهای مرتبط با ویژگیها و مشخصات تصمیم‌گیرنده یا تحلیلگر؛

ب- معیارهای مرتبط با ویژگیها و مشخصات تکنیکهای MADM؛

ج- معیارها و ویژگیهای مربوط به ماهیت مسأله؛

د- معیارها و ویژگیهای مربوط به جواب و رتبه‌بندی به‌دست آمده [صص ۱۲۳-۱۳۱].

با توجه به ابعاد ارائه شده، بررسی مطالعات انجام‌شده در زمینه دسته‌بندی فنون MADM [۱۷؛ ۱۲] و در نهایت با استفاده از نظر متخصصان^۱، معیارهای مرتبط برای دسته‌بندی فنون MADM برای استفاده در الگوریتم پیشنهادی رتبه‌بندی علل بالحقوه ریشه‌های در فاز تحلیل شش سیگما به شرح زیر انتخاب شده است [۱۳؛ ۱۴؛ ۱۵؛ ۱۶؛ ۱۷، صص ۱۱۴؛ ۱۸، ص ۱۰۷]:

۱- تعداد شاخصها- تعداد گزینه‌ها(تعداد علت‌های بالحقوه- متغیرهای مستقل)؛

۲- امکان ایجاد ماتریس تصمیم یا عدم امکان ایجاد ماتریس تصمیم(انجام مقایسات زوجی)؛

۳- تصمیم‌گیری فردی و گروهی؛

- ۴- نحوه بی‌مقیاس‌سازی شاخصها؛
- ۵- ماهیت ارزیابی (کمی یا کیفی - مقداری یا کلامی)؛
- ۶- وزن شاخصها و وزن تصمیم‌گیرنده؛
- ۷- نوع رتبه‌بندی (کامل یا سطح‌بندی)؛
- ۸- تعامل با تصمیم‌گیرنده یا عدم تعامل با تصمیم‌گیرنده؛
- ۹- جبرانی یا غیر جبرانی بودن فنون به‌کار گرفته شده؛
- ۱۰- وجود یا عدم وجود سطوح استاندارد در ارزیابیها.

۵-۲- مفروضات و شرایط موردنیاز برای به‌کارگیری فنون MADM به جای فنون آماری هدف این پژوهش اولویت‌بندی علتهای بالقوه ریشه‌ای (Xi ها) مؤثر بر عوامل بحرانی کیفیت (CTQs) با استفاده از فنون MADM در شرایطی است که امکان استفاده از فنون کارآمد وجود نداشته باشد. با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش متدولوژی، بدیهی است ایجاد ماتریس تصمیم^۱ یا ماتریس مقایسات زوجی با استفاده از علتهای بالقوه ریشه‌ای، امری انکارناپذیر می‌باشد.

برای ایجاد ماتریس تصمیم با استفاده از علتهای بالقوه سه راهکار به شرح زیر پیشنهاد می‌شود:

۵-۲-۱- جایگزینی علل بالقوه به جای شاخصها^۲ و افراد تصمیم‌گیرنده به جای گزینه‌ها^۳ در ماتریس تصمیم

یکی از مراحل فرایند ایجاد ماتریس تصمیم، ارزیابی اوزان (w_j) برای شاخصها می‌باشد. روشهای متعددی برای تعیین وزن شاخصها وجود دارد، یکی از بهترین این روشها، آنتروپی شانون می‌باشد. آنتروپی شانون با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد خود یکی از روشهای رایج تعیین وزن برای شاخصها به شمار می‌آید.

آنتروپی دارای یک مفهوم خاص در علوم فیزیکی، علوم اجتماعی و تئوری اطلاعات می‌باشد، به‌طوری‌که نشاندهنده مقدار عدم اطمینان موجود از محتوای مورد انتظار اطلاعاتی

1. Decision matrix
2. Attributes
3. Alternatives



از یک پیام است. به لفظ دیگر، آنتروپی در تئوری اطلاعات معیاری است برای مقدار عدم اطمینان بیان شده به وسیله یک توزیع احتمال گسسته.

به عنوان مثال در بسیاری از پروژه‌های تحقیقاتی ممکن است از سؤالهای تشریحی باز^۱ در یک پرسشنامه استفاده شود. برای مشخص کردن اهمیت کلمات (یا جملات) کلیدی با توجه به فراوانی و میزان تکرار این کلمات می‌توان از روش آنتروپی شانون استفاده کرد.

	A _۱	A _۲	A _۳	A _۴	
۱ فرد	F _{۱۱}	F _{۱۲}	F _{۱۳}	F _{۱۴}	A_i: علت بالقوه i ام F_{ij}: نمره و امتیاز تخصیصی فرد i ام به علت بالقوه j ام.
۲ فرد	F _{۲۱}	F _{۲۲}	F _{۲۳}	F _{۲۴}	
۳ فرد	F _{۳۱}	F _{۳۲}	F _{۳۳}	F _{۳۴}	
۴ فرد	F _{۴۱}	F _{۴۲}	F _{۴۳}	F _{۴۴}	

پس اگر در ماتریس تصمیم، علت‌های بالقوه (X_i ها) به جای شاخصها قرار گیرند و افراد تصمیم‌گیرنده (DM) به جای گزینه‌ها، ماتریس تصمیم به صورت زیر است که در آن: خروجی روش آنتروپی شانون تعیین وزن برای هر یک از شاخصها که همان علت‌های بالقوه هستند می‌باشد؛ در نتیجه با کمک اوزان به دست آمده می‌توان به رتبه‌بندی علت‌های بالقوه پرداخت.

۲-۲-۵- جایگزینی علل بالقوه به جای گزینه‌ها و افراد (DM) به جای شاخصها در ماتریس تصمیم

اگر امکان تدوین شاخص ارزیابی برای اولویت‌بندی علل بالقوه وجود نداشته باشد می‌توان با استفاده از نظرات و ارزیابیهای کمی و کیفی متخصصان و تصمیم‌گیرنده‌ها (DM) به رتبه‌بندی علت‌های بالقوه در قالب یک ماتریس تصمیم پرداخت. پس اگر افراد تصمیم‌گیرنده نقش شاخصها و علت‌های بالقوه، نقش گزینه‌ها را در ماتریس تصمیم به عهده داشته باشند، ماتریس تصمیم جدید به صورت زیر ایجاد خواهد شد:

	فرد ۱	فرد ۲	فرد ۳	فرد ۴	
A ₁	F _{۱۱}	F _{۱۲}	F _{۱۳}	F _{۱۴}	Ai: علت بالقوه i ام
A ₂	F _{۲۱}	F _{۲۲}	F _{۲۳}	F _{۲۴}	Fi: ارزیابی کمی یا کیفی فرد i ام نسبت به
A ₃	F _{۳۱}	F _{۳۲}	F _{۳۳}	F _{۳۴}	گزینه j ام
A ₄	F _{۴۱}	F _{۴۲}	F _{۴۳}	F _{۴۴}	

که با توجه به شرایط و ویژگیهای مسأله و ماتریس تصمیم ایجادشده به اقتضای شرایط می‌توان از فنون MADM استفاده کرد.

۳-۲-۵ جایگزینی علل بالقوه به جای گزینه‌ها و تدوین شاخصها به وسیله تیم شش سیگما اگر ماهیت مسأله به گونه‌ای باشد که تیم شش سیگما توانایی تدوین شاخصهای مشترک برای علل بالقوه را داشته باشد، می‌توان ماتریس تصمیم استاندارد را به صورت زیر ایجاد کرد.
در این حالت می‌توان با توجه به شرایط کاربردی هر یک از فنون MADM، از آن فنون برای اولویتبندی علل بالقوه ریشه‌ای استفاده کرد.

	شاخص ۱	شاخص ۲	شاخص ۳	شاخص ۴	
A ₁	F _{۱۱}	F _{۱۲}	F _{۱۳}	F _{۱۴}	Ai: علت بالقوه i ام
A ₂	F _{۲۱}	F _{۲۲}	F _{۲۳}	F _{۲۴}	Fi: ارزیابی کمی یا کیفی فرد i ام
A ₃	F _{۳۱}	F _{۳۲}	F _{۳۳}	F _{۳۴}	نسبت به گزینه j ام
A ₄	F _{۴۱}	F _{۴۲}	F _{۴۳}	F _{۴۴}	

۳-۵ ارائه مدل و الگوریتم به کارگیری فنون MADM متناسب با فاز تحلیل شش سیگما (برای اولویتبندی علل بالقوه)
در این مرحله با در نظر گرفتن معیارهای دسته‌بندی تأیید شده به وسیله خبرگان و با مطالعه و بررسی دقیق ویژگیهای خاص و عمومی فنون MADM به طراحی و ارائه مدل متناسب با نیازمندیهای فاز تحلیل شش سیگما برای اولویتبندی علل بالقوه ریشه‌ای پرداخته شد.
۲۴ تکنیک رایج MADM نیز به عنوان نمونه، برای دسته‌بندی در مدل ارائه شده به شرح زیر انتخاب گردیده شد (جدول ۴).

Dominance	Disjunctive	Conjunctive	MRS	Eigen vector	permutation	ELECTERE	Ranking permutation
Maximin	Lexicographic	LINMAP	Entropy	ANP	Linear Assignment	TOPSIS	Notation Direct
Maximax	Elimination	MDS	AHP	LS	SAW	Delphi	Cost Benefit

[illegible]

شکل ۶ نمودار الگوریتم استفاده از فنون MADM

جدول ۵ نحوه انتخاب تکنیکهای MADM در فاز تحلیل SIX SIGMA برای اولویتبندی علل بالقوه

تکنیک مورد استفاده	نوع تعامل با DM	ماهیت ارزیابی	نوع رتبه‌بندی	نوع وزن شاخصها یا افراد	جبرانی / غیرجبرانی	نحوه تعریف شاخص	
LA / SAW / TOPSIS / Permutation	عدم تعامل	مقداری	کامل	افراد نظردهنده دارای وزن یکسان نمی‌باشند (نیاز به وزن از قبل تعیین شده می‌باشد).	جبرانی	عدم امکان تعریف شاخص حقیقی - علل بالقوه به جای گزینه‌های افراد (DM) به جای شاخصهای Attribute	
LA/ Permutation	عدم تعامل	کلامی					
ELECTRE	عدم تعامل	مقداری	سطح‌بندی				
Maximin/maximax/ Dominance	عدم تعامل	مقداری	سطح بندی	افراد نظردهنده دارای وزن یکسان می‌باشند (نیاز به وزن از قبل تعیین شده نمی باشد).	غیرجبرانی		
Conjunctive/Disjunctive Elimination							وجود سطوح استاندارد
Dominance	عدم تعامل	کلامی					عدم وجود سطوح استاندارد
Conjunctive/Disjunctive Elimination							وجود سطوح استاندارد
Permutation (با شرط کم بودن تعداد علت‌های بالقوه)	عدم تعامل	مقداری	رتبه بندی کامل	افراد نظردهنده دارای وزن یکسان نمی‌باشند (نیاز به وزن از قبل تعیین شده می باشد).			
Permutation (با شرط کم بودن تعداد علت‌های بالقوه)	عدم تعامل	کلامی					
MRS / MDS	تعامل	مقداری	سطح بندی	وزن شاخصها یکسان/نیازی به وزن از قبل تعیین شده نیست.	جبرانی		
MRS / MDS	تعامل	کلامی					
پرموتاسیون رتبه‌ای/Linmap	تعامل	مقداری	رتبه‌بندی کامل	وزن شاخصها یکسان نیست/نیاز به وزن از قبل تعیین شده می‌باشد.			
TOPSIS/LA/SAW/Permutation	عدم تعامل						
پرموتاسیون رتبه‌ای	تعامل	کلامی					



ادامه جدول ۵

نحوه تعریف شاخص	جبرانی / غیرجبرانی	نوع وزن شاخصها یا افراد	نوع رتبه‌بندی	ماهیت ارزیابی	نوع تعامل با DM	تکنیک مورد استفاده	
"	جبرانی	"	رتبه‌بندی کامل	کلامی	عدم تعامل	LA/ Permutation	
			سطح بندی	مقداری	عدم تعامل	ELECTRE	
	غیرجبرانی	وزن شاخصها یکسان/نیازی به وزن از قبل تعیین شده نیست	سطح بندی	مقداری	عدم تعامل	عدم وجود سطوح استاندارد	Maximin/maximax/ Dominance
						وجود سطوح استاندارد	Conjunctive/ Disjunctive/ Elimination
				کلامی	عدم تعامل	عدم وجود سطوح استاندارد	Dominance
						وجود سطوح استاندارد	Conjunctive/ Disjunctive/ Elimination
		وزن شاخصها یکسان نیست/نیاز به وزن از قبل تعیین شده می‌باشد.	رتبه‌بندی کامل	مقداری	تعامل	روش رتبه‌ای پرموتاسیون	
					عدم تعامل	Permutation	
				کلامی	تعامل	روش رتبه‌ای پرموتاسیون	
					عدم تعامل	Permutation	
			سطح بندی	مقداری	تعامل	Lexicographic/semi lexicographic	
				کلامی	تعامل	Lexicographic/semi lexicographic	

۶- تست مدل (مطالعه موردی)^۱

در این بخش از مقاله با استفاده از اجرای مدل پیشنهادی و مقایسه نتایج متدلوژی شش سیگما،

1. Case study

قبل و بعد از به کارگیری این مدل، سعی در تست مدل پیشنهادی می شود. این مدل در یک کارخانه متالورژی که تولیدکننده ورقهای برنجی می باشد، به شرح زیر به کار گرفته شده است:

با توجه بالا بودن قیمت تمام شده شمشهای تولید شده در این شرکت و وجود ضایعات و دوباره کاریهای زیاد در فرایند ذوب و ریخته گری، پروژه شش سیگما با عنوان "کاهش دوباره کاریها در فرایند ذوب و ریخته گری" تعریف شده است، که منافع حاصل از اجرای این پروژه حدود هفتصد میلیون ریال پیش بینی شده بود. پس از تدوین منشور پروژه، تهیه درخت عوامل بحرانی کیفیت (CTQ)^۱ و انجام سایر تحلیلهای مورد نیاز، در نهایت دو عامل اصلی بحرانی کیفیت (CTQ) یا متغیر وابسته از بین سایر عوامل انتخاب شد:

۱- کاهش ضایعات در فرایند ریخته گری: CTQ_۱

۲- کاهش ضایعات در فرایند شارژ: CTQ_۲

سپس با استفاده از ابزارهای متعدد از قبیل نمودار علت و معلول، ماتریس علت و معلول، تجزیه و تحلیل حالات بالقوه خطا و آثار آن، استفاده از نظر خبرگان و ...، علل بالقوه یا مکانیزمهای ایجاد شکست که با عنوان متغیرهای مستقل تأثیرگذار بر CTQها معروف هستند، به شرح جدول ۶ شناسایی شد: (برای CTQ_۱ دوازده متغیر مستقل و برای CTQ_۲ چهارده متغیر مستقل):

$$CTQ_1 = F(X_1, X_2, X_3, \dots, X_{12}) \quad , \quad CTQ_2 = F(X_1, X_2, X_3, \dots, X_{14})$$

جدول ۶ فهرست متغیرهای تأثیرگذاری بر CTQ

CTQ _۲ (Y _۲)		CTQ _۱ (Y _۱)	
طبقه بندی نامناسب	X _۱	خرابی قالب	X _۱
سرب بالا	X _۲	سرعت ریخته گری	X _۲
اصلاح کننده	X _۳	تعداد دستگاه	X _۳
همگن نبودن آنالیزها	X _۴	دمای ذوب	X _۴
ثابت نبودن آنالیز	X _۵	دمای ورودی	X _۵
پرنمودن کوره	X _۶	دقت اپراتور در راه اندازی سیستم	X _۶

1. Critical To Quality



ادامه جدول ۶

CTQ _۲ (Y _۲)		CTQ _۱ (Y _۱)	
ایجاد اشکال در زمان	X _۷	دمای پیشگرم	X _۷
گرفتگی کانال	X _۸	میزان مصرف ضایعات	X _۸
تغییر الیاز	X _۹	نوع مواد مصرفی	X _۹
خطای نمونه‌گیری	X _{۱۰}	زمان راه‌اندازی سیستم	X _{۱۰}
خطای دستگاه	X _{۱۱}	سرعت انتقال مواد	X _{۱۱}
عدم تجهیز دستگاه	X _{۱۲}	سرعت تعویض قالب	X _{۱۲}
قبول سفارش	X _{۱۳}		X _{۱۳}
نوع آلیاژ	X _{۱۴}		X _{۱۴}

۶-۱- استفاده از ابزارهای آماری برای تصدیق و رتبه‌بندی علل ریشه‌ای:

در صورت وجود پیش‌شرط‌های لازم از قبیل نرمال بودن توزیع نمونه‌گیری، امکان نمونه‌گیری به‌اندازه کافی با توجه به ابعاد زمان، مکان، هزینه و سایر شرایط، ابزارهای آماری مانند کلیه آزمونهای فرض آماری، تحلیل رگرسیون، طراحی آزمایشات و... ابزارهای بسیار کارا و مفیدی برای تصدیق علل ریشه‌ای می‌باشند.

اما در این پروژه به دلیل وجود موانع متعدد از قبیل عدم امکان دسترسی به نمونه‌های مورد نیاز با توجه به خصوصیات فرایند تولید، وجود هزینه‌های بسیار بالا و غیر اقتصادی برای انجام آزمایشات روی نمونه‌های گرفته شده و عدم وجود آزمونهای آماری مناسب برای تصدیق برخی از علل ریشه‌ای، امکان استفاده از ابزارهای آماری رایج بسیار محدود می‌باشد، به گونه‌ای که اگر در انتخاب ابزار برای تصدیق علل ریشه‌ای فقط محدود به ابزارهای آماری باشیم. توقف پروژه شش سیگما یکی از محتمل‌ترین حالات خواهد بود. خلاصه نتایج ابزارهای آماری به‌کار گرفته شده به‌وسیله تیم شش سیگما در این پروژه به شرح زیر می‌باشد:

۶-۱-۱- آزمون مقایسه میانگین دو جامعه

میانگین ضایعات ته شمش: ۲۲

میانگین ضایعات سرشمش: ۲۱

$$H_0: \mu_1 > \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 < \mu_2$$

- Difference = mu (۱) - mu (۲)
- Estimate for difference: -۲۶,۶۳۴۳
- ۹۵% lower bound for difference: -۲۹,۵۵۵۰
- T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = -۱۵,۲۷ P-Value = ۱,۰۰۰ DF = ۵۲

۲-۱-۶- تحلیل واریانس (ANOVA)

ادعا می‌شود که میانگین ضایعات ایجاد شده در سرشمش به دقت اپراتورها بستگی دارد.
این ادعا را با سه نفر ریخته‌گر بررسی شد: میانگین نفر اول μ_1 ، میانگین نفر دوم μ_2 ، میانگین نفر سوم μ_3

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

حداقل میانگین یکی از اپراتورها متفاوت است: H_1

Source	DF	SS	MS	F	P
C۱	۲	۲۲۳۶.۸	۱۱۱۸.۴	۱۶.۶۸	۰.۰۰۰
Error	۱۶۷	۱۱۲۰۰.۳	۶۷.۱		
Total	۱۶۹	۱۳۴۳۷.۲			

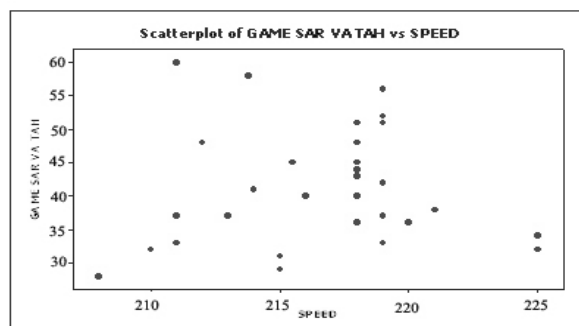
$$S = ۸,۱۸۹ \quad R\text{-Sq} = ۱۶,۶۵ \quad R\text{-Sq(adj)} = ۱۵,۶۵$$

Individual ۹۵% CIs For Mean Based on Pooled StDev

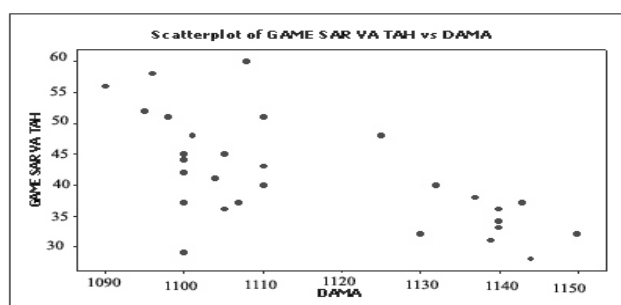
	Level	N	Mean	StDev
(-----*-----)	۱۰,۵۶۷	۴۴,۱۷۴	۴۶	نفر اول
(-----*-----)	۷,۲۶۴	۳۶,۵۲۵	۹۹	نفر دوم
(-----*-----)	۶,۴۷۱	۴۳,۲۸۰	۲۵	نفر سوم
	۴۵,۰	۴۲,۰	۳۹,۰	۳۶,۰



۶-۱-۳- استفاده از Scotter plot:



شکل ۷ همان طور که از نمودار فوق مشاهده می‌شود عامل سرعت نمی‌تواند به عنوان علت ریشه‌ای انتخاب شود.



شکل ۸ همان طور که از نمودار فوق مشاهده می‌شود، عامل دما می‌تواند عامل ریشه‌ای باشد

همان‌گونه که در شکل ۷ و ۸ ملاحظه می‌شود با توجه به شرایط این مسأله، فنون آماری که امکان به‌کارگیری آن توسط تیم شش سیگما وجود داشته است، به هیچ وجه متناسب با مسأله نمی‌باشد که این نیز خود دلیلی بر عدم کارایی فنون آماری در شرایط خاص مانند مسأله فوق می‌باشد.

نتایج به‌دست‌آمده از ابزارهای آماری قابل استفاده در این پروژه فقط نمایانگر این است که از بین ۱۴ علت بالقوه تنها علل بالقوه ۱۰، ۷، ۶، بر ۱ CTQ تأثیرگذار است (که آن‌هم دقت کافی را ندارد).

بدیهی است در این پروژه، علاوه بر اینکه ابزارهای آماری کارایی لازم را نداشته و بیانگر تصدیق یا عدم تصدیق تمام علل ریشه‌ای نمی‌باشند، میزان شدت تأثیر هر یک از علل بالقوه بر CTQ را نیز برای اولویت‌بندی برای بهبود نشان نمی‌دهد. برای رفع این خلأها استفاده از فنون MADM طبق مدل ارائه شده به صورت زیر می‌باشد.

۲-۶- استفاده از فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه برای تصدیق و رتبه‌بندی علل ریشه‌ای:

با توجه به جدول ۵ و فلوچارت ارائه شده در متدولوژی حل مسأله در راستای برطرف کردن نقایص و خلأهای موجود در به‌کارگیری ابزارهای آماری در فاز تحلیل شش سیگما از دو روش زیر (که بر مبنای ایجاد ماتریس تصمیم DM می‌باشد)، برای سنجش میزان تأثیر علل بالقوه بر CTQها استفاده شده است.

به این منظور با ایجاد تیم خبرگان از درون و بیرون شرکت و طراحی پرسشنامه‌هایی منطبق بر مدل پیشنهادی، متناسب با روشهای MADM، به ارزیابی، مقایسه و رتبه‌بندی علل بالقوه از بعد شدت تأثیر علل بالقوه بر متغیرهای وابسته، بر اساس طیف دو قطبی و لیکرت پرداخته شده است

۱-۲-۶- روش آنتروپی شانون

برای سنجش میزان تأثیر علل بالقوه بر ضایعات در فرایند ریخته‌گری (CTQ_۱) و با توجه به شرایط مسأله از روش آنتروپی شانون استفاده می‌شود.

۱-۱-۲-۶- شرایط استفاده از روش آنتروپی شانون و تطبیق آن با مسأله مورد نظر

آنتروپی در تئوری اطلاعات، معیاری است برای مقدار عدم اطمینان بیان‌شده به‌وسیله یک توزیع احتمال گسسته (Pi)، به‌طوری که این عدم اطمینان در صورت پخش‌بودن بیشتر از موردی است که توزیع تیزتر باشد.

طبق نظر صاحب‌نظران علم تحقیق در عملیات مانند شانون^۱، یوانگ^۲، ولف^۳ در بسیاری از

1. Shanon
2. Yoang
3. Volf



پروژه‌های تحقیقاتی با پرسشنامه‌های سؤال باز، یا تعداد دفعات تکرار که به وسیله m تصمیم‌گیرنده شمارش می‌شود، با تکیه بر امتیازدهی خبرگان از تکنیک آنتروپی شانون برای وزن‌دهی شاخصها استفاده کرد. البته لازم به ذکر می‌باشد که ویژگیهای منحصر به فرد این تکنیک آن را در زمره رایجترین روشهای محاسبه وزن شاخصها قرار داده است.

در ماتریس تصمیم برای استفاده از روش آنتروپی، علت‌های بالقوه به جای شاخصها^۱ (Attribute) و خبرگان (DM) به جای گزینه‌ها قرار خواهند گرفت.

جمع‌بندی نتایج به دست آمده و رتبه‌بندی علل ریشه‌ای بالقوه با توجه به میزان شدت تأثیر آنها بر متغیر وابسته (با استفاده از روش آنتروپی شانون) در جدول ۷ نشان داده شده است:

	A_1	A_2	A_3	A_4		X_1	X_2	$X_3 \dots X_{12}$
گزینه ۱	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{14}	فرد ۱	F_{11}	F_{12}	$F_{13} \dots F_{1,12}$
گزینه ۲	F_{21}	F_{22}	F_{23}	F_{24}	فرد ۲	F_{21}	F_{22}	$F_{23} \dots F_{2,12}$
گزینه ۳	F_{31}	F_{32}	F_{33}	F_{34}	فرد ۳	F_{31}	F_{32}	$F_{33} \dots F_{3,12}$
گزینه ۴	F_{41}	F_{42}	F_{43}	F_{44}
				
					فرد ۱۰	$F_{10,1}$	$F_{10,2}$	$F_{10,3} \dots F_{10,12}$

جدول ۷ رتبه‌بندی علل بالقوه با استفاده از نتایج روش آنتروپی شانون

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}
λ_j	۰/۰۴۸	۰/۱۱۳	۰/۰۸	۰/۱۲۵	۰/۰۴۸	۰/۱۲۶	۰/۰۸	۰/۰۱۶	۰/۰۱۶	۰/۰۸	۰/۱۱۳	۰/۱۱۳
W_j	۰/۱۱۹	۰/۰۵۷۵	۰/۱۱۶	۰/۰۵	۰/۰۶۵	۰/۰۲۵	۰/۰۲۴	۰/۱۷۲	۰/۱۷۷	۰/۰۸	۰/۰۹۲	۰/۰۱۹
$\lambda_j^* W_j$	۰/۰۶۶	۰/۰۰۶۵	۰/۰۰۹۳	۰/۰۷۲۵	۰/۰۰۳۱	۰/۰۶۶	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۷۸	۰/۰۰۶۴	۰/۰۱۰۴	۰/۰۰۲
W_i	۰/۰۳۵۱	۰/۰۳۴۶	۰/۰۴۹۵	۰/۰۷۶۹	۰/۰۱۶۵	۰/۰۳۵۱۶	۰/۰۱۰۱	۰/۰۱۳۳	۰/۰۱۴۹	۰/۰۳۴۰	۰/۰۵۵۴	۰/۰۱۰۶
رتبه‌بندی علل بالقوه	۵	۶	۴	۱	۸	۲	۱۲	۱۰	۹	۷	۳	۱۱

1. Attribute

۶-۲-۲- روش TOPSIS

در این بخش سعی می‌شود تا پس از مقایسه و تطبیق شرایط مسأله با ویژگیهای روش TOPSIS از این روش برای اولویتبندی علل بالقوه استفاده شود.

۶-۲-۲-۱- شرایط استفاده از روش TOPSIS و تطبیق آن با مسأله مورد نظر


الف- در روش TOPSIS مطلوبیت هر شاخص باید به‌طور یکنواخت افزایشی یا کاهشی باشد (یعنی هرچه F_{ij} بیشتر باشد، مطلوبیت نیز بیشتر است و یا برعکس) که به آن صورت بهترین ارزش موجود از یک شاخص نشاندهنده آن بوده و بدترین ارزش موجود از آن مشخص‌کننده ایدئال منفی برای آن خواهد بود [۱۰، صص ۲۶۰-۲۶۵]. در این مسأله نیز هرچه امتیاز تخصیصی فرد خبره بیشتر باشد، به معنای مطلوبیت بیشتر او از گزینه موردنظر و بالعکس هرچه امتیاز تخصیصی فرد خبره کمتر باشد، نشاندهنده مطلوبیت کمتر فرد خبره می‌باشد که با شرط فوق همخوانی دارد.

ب- فاصله یک گزینه از ایدئال مثبت یا منفی باید به‌صورت فاصله اقلیدسی و یا مجموع قدر مطلق از فواصل خطی محاسبه شود. که در مسأله فوق در طی فرایند حل برای بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم از نرم اقلیدسی $(n_{ij} = F_{ij} / (\sum F_{ij}^2)^{1/2})$.

برای سنجش میزان تأثیر علل بالقوه بر کاهش ضایعات در فرایند شارژ (CTQ ۲) و با توجه به شرایط مسأله از روش TOPSIS استفاده می‌شود. در ماتریس تصمیم برای استفاده از TOPSIS، علت‌های بالقوه به جای گزینه‌ها و خبرگان (DM) به جای شاخصها قرار خواهند گرفت.

ج- اطلاعات ورودی به روش TOPSIS شامل بردار اوزان (W) برای شاخصها بوده و خروجی آن به‌صورت رتبه‌بندی برای گزینه‌ها خواهد بود. در مسأله موردنظر وزن شاخصها با استفاده از طیف دو قطبی و به‌کارگیری روش کمترین مجزورات وزین شده محاسبه شده و به مدل وارد شده است (از روش آنتروپی شانون نیز می‌توان استفاده کرد) همچنین رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها یکی از اهداف و مطلوبیتهای مسأله فوق می‌باشد که روش TOPSIS نیز همین نتایج را در بردارد [۱، صص ۱۹۶-۲۰۰].



	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄		فرد ۱	فرد ۲	فرد ۳	فرد ۱۰	
گزینه ۱	F _{۱۱}	F _{۱۲}	F _{۱۳}	F _{۱۴}		X _۱	F _{۱۱}	F _{۱۲}	F _{۱۳}	F _{۱۴,۱۰}
گزینه ۲	F _{۲۱}	F _{۲۲}	F _{۲۳}	F _{۲۴}		X _۲	F _{۲۱}	F _{۲۲}	F _{۲۳}	F _{۲۴,۱۰}
گزینه ۳	F _{۳۱}	F _{۳۲}	F _{۳۳}	F _{۳۴}		X _۳	F _{۳۱}	F _{۳۲}	F _{۳۳}	F _{۳۴,۱۰}
گزینه ۴	F _{۴۱}	F _{۴۲}	F _{۴۳}	F _{۴۴}	
						X _{۱۴}	F _{۴,۱}	F _{۱۴,۲}	F _{۱۴,۳}	F _{۱۴,۱۰}

جمع‌بندی نتایج به‌دست آمده و رتبه‌بندی علل ریشه‌ای بالقوه با توجه به میزان شدت تأثیر آنها بر متغیر وابسته با استفاده از روش TOPSIS در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸ رتبه‌بندی علل بالقوه با استفاده از نتایج روش TOPSIS

	X _۱	X _۲	X _۳	X _۴	X _۵	X _۶	X _۷	X _۸	X _۹	X _{۱۰}	X _{۱۱}	X _{۱۲}	X _{۱۳}	X _{۱۴}
di+	۷۵۰/۰	۶۶۳/۰	۶۸۳/۰	۵۰۷/۰	۶۸۳/۰	۶۷۸/۰	۸۷۵/۰	۶۵۸/۰	۶۷۵/۰	۸۶۳/۰	۷۵۵/۰	۶۶۳/۰	۶۶۳/۰	۶۶۳/۰
di-	۸۱۷/۰	۶۶۳/۰	۸۱۷/۰	۱۱۱۷/۰	۸۰۳/۰	۶۶۳/۰	۶۱۰/۰	۶۵۹/۰	۶۶۳/۰	۶۶۳/۰	۶۶۳/۰	۶۶۳/۰	۶۶۳/۰	۶۶۳/۰
di+/(di++di-)	۶۶۳/۰	۶۶۳/۰	۶۶۳/۰	۵۵۵/۰	۸۶۳/۰	۶۶۳/۰	۶۶۳/۰	۶۶۳/۰	۶۶۳/۰	۶۶۳/۰	۶۶۳/۰	۶۶۳/۰	۶۶۳/۰	۶۶۳/۰
رتبه‌بندی علل بالقوه	۱	۵	۸	۷	۲	۶	۱۴	۱۳	۱۲	۱۰	۱۱	۴	۹	۲

نتایج نشان می‌دهد که استفاده از روش MADM در فاز تحلیل شش سیگما علاوه بر تعیین وزن هریک از علل بالقوه، رتبه‌بندی کاملی نیز از علل بالقوه به نسبت میزان تأثیر آنها بر CTQها ارائه می‌کند. پس از به‌کارگیری نتایج به‌دست آمده از مدل پیشنهادی در شرکت مطالعه شده، علاوه بر جلوگیری از توقف پروژه شش سیگما، نتایج به‌دست آمده به وسیله خبرگان نیز کاملاً مورد تأیید قرار گرفت که در نهایت پس از انجام پروژه‌های بهبود، کاهش ضایعات حداقل به میزان یک میلیارد و هفتصد میلیون ریال مدیران شرکت مورد تأیید قرار گرفت؛ یعنی حداقل یک میلیارد ریال بیش از پیش‌بینی صورت گرفته در منشور پروژه.

۷- نتیجه‌گیری

از منظر متخصصان شش سیگما و با توجه ویژگیهای بیان شده تکنیکها و آزمونهای آماری موجود در فاز تحلیل شش سیگما، برای تصدیق علل ریشه‌ای، به شرط اینکه در فاز تحلیل متدلوژی DMAIC، شرایط استفاده از فنون آمار پارامتریک مهیا باشد، این فنون آماری نتایج قابل قبول و کاربردی ارائه خواهد کرد ولی در صورتی که بنا به دلایل مختلف، امکان تطابق شرایط تحلیل در پروژه شش سیگما با شرایط استفاده از فنون آمار پارامتریک وجود نداشته باشد، از قبیل مشخص نبودن توزیع نمونه‌گیری، حجم نمونه کم و ناکافی و یا حتی عدم وجود آزمون آماری متناسب با شرایط فاز تحلیل در شش سیگما، اجرای پروژه شش سیگما در شرایط فوق متوقف خواهد شد. از طرفی با توجه به برخورد بسیاری از پروژه‌های شش سیگما با این موانع، ارائه راهکار در راستای حل این مشکل کمک شایان توجه‌ای به بسط و گسترش این متدلوژی خواهد کرد.

با توجه به دلایل ذکر شده، این پژوهش در صدد استفاده از فنون MADM در فاز تحلیل شش سیگما به جای فنون آمار ناپارامتریک در زمانی که امکان استفاده از فنون آمار پارامتریک مهیا نیست یا حالتی که آزمون آماری متناسب با شرایط فاز تحلیل وجود ندارد، می باشد. با توجه به جامع بودن مدل پیشنهادی لازم به ذکر می باشد که حتی در شرایطی که امکان استفاده از فنون آماری مهیا می باشد، امکان استفاده از تکنیکهای MADM با نظر خبرگان نیز وجود دارد.

در این پژوهش مجموعه فنون MADM بر اساس ویژگیهای تکنیکها، شرایط کاربرد آنها و نیازمندیهای شش سیگما دسته‌بندی شده و جایگاه کاربردی هر تکنیک در فاز تحلیل شش سیگما مشخص شده است. یکی دیگر از نتایج این پژوهش ایجاد شرایط استفاده از منطق فازی در مرحله تحلیل شش سیگما می باشد، که در نتیجه امکان به کارگیری متدلوژی شش سیگما در فضاهای مبهم و سربسته نیز مهیا شده است.

۸- منابع

- [۱] اصغرپور، م. ج.؛ تصمیم‌گیری‌های چند معیاره؛ تهران: انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۷.
- [2] Snee R.D., " Six sigma: The evolution of 100 years of business improvement methodology ;Six Sigma and Competitive Advantage, Vol1, No



1,2004.

- [3] Brefogle W.F.; Implementing six sigma; John Willy, New Jersey, 2005.
- [4] Stamat D.H.; Six sigma and beyond foundations of excellent performance, ST. Lucie; Washington .DC , 2001
- [5] Gitlow.S.H., Levin, M.D.; Six sigma for Green belt and champion ; prentice Hall, New York, 2005.
- [6] Sheehy P.; The black belt memory Jogger, Six sigma Academy, 2002.
- [7] Yang C.C.; "An integrated model of TQM and GE Six" sigma; Six Sigma Competitive Advantage, .Vol1, NO. 1, 2004.
- [8] McAdam.R., "The organization contextual factors affecting the implementation of six sigma in high technology"; Six Sigma and Competitive Advantage, Vol. 1, No. 1, 2004.
- [9] Laferty.B.; "A multilevel case study critical of six sigma: Statistical control or strategic change?," *International Journal of Operation & Production Management*, vol. 24, No. 5, 2004.
- [10] Pyzdek T.; "Strategy deployment using balanced scorecards"; Six Sigma and Competitive advantage, Vol1, No.1, 2004.
- [11] Dyer.j., "Multiple criteria decision making, statistical utility theory"; *Management Science*, vol. 38, No. 5, 1992.
- [12] Triantaphyllou E.; Multi criteria Decision Making methods A comparative study; Kluwer Academic, London.
- [13] Tecle.A.; "Choice of multicriterion decision making techniques for watershed management"; UMI, Michigan, 1988.
- [14] Ronalder N., A framework for MCDM method selection; Georgia Institute of Technology, 2004.
- [15] Zanakis H.; Solomon.A.; Multi-attribute decision making: A simulation

- comparison of select methods"; *European Journal of Operation Research*, Vol.107.1998.
- [16] Cheng H.; Development of a fuzzy Multi- criteria Decision support system for municipal solid waste Management; Regina, 2000.
- [17] Cheng S.K.; "Development of fuzzy multicriteria decision support system for municipal solid waste management".
- [18] Tung C.C.; "Extensions of TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment"; *Fuzzy Sets and Systems*, 114, 2000.
- [19] Liu P., Chi Wei C.; "A group decision making technique for appraising the performance of organizations"; *European Journal of Operation Research*, 1998.
- [20] Kirby M.; A Methodology for technology identification, evaluation, and selection in conceptual and preliminary aircraft design, Georgia, 2001.
- [21] Tzeng G., Chang Y.; "MADMA approach for effecting information quality of knowledge management", *international Journal of the Information Systems*, Vol.1, No.1.
- [22] Linko A., Kiker G.; "Multi criteria decision analysis: A framework for structuring Remedial Decision At contaminated sites", *comparative Risk Assessment*, New York, 2004.
- [23] Rajagopal R.; "Bayesian Methods For Robustness In Process Optimazation"; Pennsylvania University, 2004.
- [24] Bunueles R.; Antony J.; "Going from six sigma to design for six sigma", *The TQM Magazine*, Vol.15, NO.5, 2003.
- [25] Noci G.; Toletti G.; "Selecting quality based programmes in small firms", *International Journal Production Economics*, Vol.67, 2000.
- [26] Yang K.; "Multivariate Statistical methods and six sigma"; six sigma and



- competitive advantage, Vol1,No.1,2004
- [27] AlfordD;Two application involing the AHP,Maryland,2004.
- [28] BunuelasR;AntonyJ., " Critical success factors for the successful implementation of six sigma project inorganization" ;The TQM Magazine,Vol.14,No.2,2002.
- [29]HanC., "Intelegent integrated plant operation system for six sigma ", Annual Review in Control,No.26, 2002.
- [30] Knowles G., "Medicated sweet variability:a six sigma application at a UK food manufacturer"; The TQM Magazine,Vol.16,No.4,2004.
- [31] MahantiR; "Confluence of six sigma, simulation and software development", *Mnagerial Auditing Journal*, Vol.20,No.7,2005.
- [32] BasuR; "Six sigma to operation excellence:role of tools and techniques" six sigma and competitive advantage, Vol.1,No.1,2004
- [33] HandesonK.; "Successful implementation of six igma:benchmarking General Electric Company". *Benchmarking An International Journal* ,Vol.7,NO.4,2004
- [34] Solana.T, "Effective six sigma HOW to use profit strategy And tools", Quality Health system of America, Washingtone,2002.
- [35] Linderman.K,Schroeder.R, "Six sigma:a goal-theoretic perspective", *Journal of operation Management* ,vol.21,2003.
- [36] Srikaeo.K,Hourigan.J, "The use of statistical control process to enhance the validation of critical control point", Food control ,vol 13,2002.
- [37] Kwak.Y,Anbari.T, "Benefit,obstacles,and future of six sigma approach", Technovation ,xx,2004.
- [38] Slow.R, "A new modeling framework for organizational self assessment development and application", ASQ, VOL.8,NO.4,2001.

- [39] Reh.S,Beley.J,"Probabilistic finite element analysis using ANSYS", structural safety,Vol.2,2005.
- [40] Koonce.D, Judd.R,"A hierarchial cost estimation tool",computers in industry,vol.50,2003.
- [41] Hong.G.Y,Goh.T.N,"A comparison of six sigma and TQM approaches in software development" , six sigma and competitive advantage, VOL.1,NO.1,2004
- [42] Hoeri.R,"One perspective on the future of six sigma", six sigma and competitive advantage, VOL.1,NO.1,2004
- [43] Pfeifer.T."Integrating six sigma with quality management systems", The TQM Magazine,Vol.16,NO.4,2004.
- [44] Charle.R,"Effect of technological intensity on the relationships among six sigma design, electronic-business,and competitive advantage:A dynamic capabilities model study",*The Journal of High Technology Management Research*, vol.16,2005.
- [45] Zhang.Q,"A Statistical approach to multiple –attribute decision making with interval numbers",*international journal of system science*,vol 34,No.1,2003.