توسعه روشی جدید برای اندازه گیری کیفیت محصولات نساجی با توجه به نتایج آزمون های کنترل کیفی بر مبنای تابع تاگوچی فازی

محمد علی صنیعی منفرد
استادیار
دانشکده مهندسی، دانشگاه الزهرا

فاطمه داداشیان
دانشیار
دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

چکیده

در این مقاله، روش مرسوم در موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران برای تعیین کیفیت محصولات که دارای طبیعت رد یا قبول (صفر یا یک) است مورد ارزیابی قرار گرفته و مشکلات متدولوژیکی آن مطالعه می‌شود. نشان داده می‌شود که روش‌های امتیازدهی(POINTING SYSTEMS) یا کارنامه‌ای نمی‌توانند برای اصلاح وجایگزینی روش مرسوم موثر باشند اگرچه این روش ها مبنای گسسته صفر یا یک را به مبنای پیوسته صفر تا یک تغییر داده و از این نظر پیشرفته‌تر هستند.

با این حساب لازم است روش جدیدی برای اندازه‌گیری کیفیت محصولات توسعه داده شود که دارای خواص زیر باشد: متناسب با طبیعت یگانه محصول باشد (منحصر به فرد بودن)، درجه‌بندی داشته باشد (پیوسته بودن)، رفتار آماری مشخصه‌های کیفی در تعیین کیفیت تاثیر گذار باشد، اندازه تاثیر کیفی مشخصه اندازه‌گیری شده متناسب با نقش مشخصه در کیفیت کل باشد.

طراحی چنین روشی در چارچوب روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره(MCDM) امکان پذیر است که چگونگی توسعه روش جدید موضوع این مقاله است. در روش جدید، برای هر مشخصه کیفی یک تابع کیفیت تعریف می‌شود که از ادغام تابع زیان تاگوچی به عنوان تابعی احتمالی و تابع اعداد فازی به عنوان تابعی غیر احتمالی بدست می‌آید. سپس توابع کیفی بخاطر تعداد زیادشان و متناسب با اهمیتی که دارند در یک ساختار سلسله مراتبی مستقر می‌شوند.

روش جدید در پرتو داده‌های واقعی جمع‌آوری شده روی محصول پوشک بچه ارزیابی شده و نتایج آن گزارش می‌گردد. با توجه به ساختار کلی متدولوژی جدید پیشنهاد شده می‌توان این روش را به راحتی روی سایر محصولات نساجی پیاده‌سازی کرد.

کلمات کلیدی

کنترل کیفی نساجی، تصمیم‌گیری چند معیاره، تابع زیان تاگوچی، اعداد فازی، روش AHP، اندازه‌گیری کیفیت

Development of a New MCDM Methodology for Textile Product Quacity Assessment Using Fuzzy-Taguchi Quality Functions

M.A.S. Monfared
Assistant Professor
Industrial Engineering,
University of Alzahra

F. Dadashian
Associate Professor
Textile Engineering,
Amirkabir University of Technology

Abstract

This paper reports on the development of a new multiple criteria decision making (MCDM) methodlogy to assess textile products quality using experimental data gathered from standard organization of Iran. A quality attribute is characterised by a fuzzified taguchi quality function and integrated into a hierorchical structure to enable a true assessment of the complex concept of product quality. Real data are used to validata the methodology.

Keywords

Textile Quality Assessment, MCDM, Taguchi Loss Function, Fuzzy function, AHP, Quality measurement.

مقدمه

محصولی مانند پوشک بچه وقتی از طرف تولید کننده به مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران داده می‌شود تا در مورد کیفیت آن اظهار نظر شود، دارای ۲۱ مشخصه کیفی است و بنابراین تصمیم‌گیری در مورد کیفیت این محصول عملاً و طبیعتاً مسأله ای در چارچوب روش های تصمیم‌گیری چند معیاره (Multi Criteria Decision Making) است. روشن است که تصمیم در مورد اندازه کیفیت محصولی با ۲۱ مشخصه بخصوص وقتی مشخصه‌های خاصیت جمع‌پذیری (additivity) ندارند، که معمولاً این چنین است، کاری سرراست نیست، مگر اینکه ما با ساده‌سازی زیاد این امکان را به وجود آوریم.

روشی که در حال حاضر مورد استفاده مؤسسه استاندارد قرار دارد روشی است که در آن کیفیت محصول فقط می‌تواند یکی از دو وضعیت "مطابق" یا "مغایر" را دریافت نماید. به همین دلیل اسم این روش را، روش صفر و یک می‌گذاریم و از آن به عنوان روشی مرجع در طراحی و ارزیابی روش های متکامل‌تر بهره می گیریم.

برای اینکه روش صفر و یک را در عمل بکار گیریم لازم است در مورد مشخصه های ۲۱گانه آن قضاوتی از جنس صفر و یک داشته باشیم، یعنی با توجه به نتایج آزمون ها معلوم کنیم که کدام مشخصه مطابق و کدام مشخصه مغایر استاندارد تعریف شده است. به طور کلی استاندارد هر مشخصه کیفی در یکی از سه وضعیت زیر تعریف می‌شود:

۱ـ مشخصه دارای حد پایینی است (Lower Specification Limit) و بنابراین مقدار اندازه گیری شده اگر کمتر یا مساوی این حد باشد مطابق استاندارد شناخته می شود.

۲ـ مشخصه دارای حد بالایی است (Upper Specification Limit) و بنابراین مقدار اندازه‌گیری شده اگر بالاتر و یا مساوی این حد باشد مطابق استاندارد شناخته می‌شود.

۳ـ مشخصه دارای حد بالا (USL) و حد پائین است (LSL) و بنابراین مقدار اندازه‌گیری شده اگر خارج از این حدود باشد مغایر استاندارد شناخته می‌شود.

بدین ترتیب وقتی مشخصه‌های کیفی مورد نظر ما آزمایش شدند (مثلاً در مورد پوشک بچه این آزمایشات از نوع فیزیکی، شیمیایی و میکروبیولوژیکی هستند) لازم است نتایج این آزمایشات و اندازه‌گیری‌ها را به صورت صفر یا یک بیان کنیم که در آن "صفر" به معنای مغایر بودن و "یک" به معنای مطابق بودن نتایج آزمایشات با حدود کنترلی است.

اینک به بررسی مشکلات متدولوژیکی روش صفر و یک می‌پردازیم. برای بیان مهم ترین مشکل روش صفر و یک، فرض کنید نتایج آزمایشات روی هر یک از مشخصه‌ها بطور متوسط ۹۰ درصد اوقات مطابق و فقط ۱۰ درصد اوقات مغایر است (یعنی $q = 0.9$). آنگاه احتمال اینکه محصولی با n مشخصه کیفی مطابق استاندارد شناخته شود عبارت است از:

$P = q^n$

P: احتمال تأیید محصول

n : تعداد مشخصه‌های کیفی

q : احتمال قبولی هر مشخصه

اینک با مطالعه روی محصولاتی که در قسمت مدیریت چرم و نساجی مؤسسه استاندارد مورد بررسی قرار گرفته‌اند[۱و۱۰] معلوم می‌شود که محصول دمپایی پلاستیکی با ۷ مشخصه کیفی کمترین و فرش ماشینی با ۳۱ مشخصه کیفی بیشترین تعداد مشخصه را دارند. در این صورت احتمال پذیرش این دو محصول عبارت خواهند شد از:

$$P_{(n=31)} = (0.9)^{31} = 0.04$$

$$P_{(n=7)} = (0.9)^{7} = 0.47$$

بدین ترتیب محصولی مانند دمپایی، ۴۷ درصد شانس برای مطابقت داشتن با استاندارد دارد. در حالی که محصولی مانند فرش ماشینی فقط ۴ درصد شانس قبول شدن را دارد. اگر این محاسبه را برای پوشک بچه با $n = 21$ انجام دهیم به قبولی ۸ درصد می‌رسیم. با این حساب محصول ما اگر دمپایی باشد ۵۳ درصد اوقات، اگر فرش ماشینی باشد ۹۶ درصد اوقات و اگر پوشک بچه باشد ۸۹ درصد اوقات رد می‌شود. این در حالی است که تولیدکننده هیچ تقصیری ندارد بلکه تعداد زیاد مشخصه‌ها کار را برای تولیدکننده سخت کرده است.

با این حساب، در زمانی که استانداردها تدوین می‌شوند، هر چه تعداد مشخصه‌ها بیشتر شوند، که قاعدتاً نشانه دقت زیادتر است، تولید کننده دچار مشکلات بیشتری می‌گردد. درچنین حالتی اگر به جای ۹۰ درصد احتمال قبولی محصول، ۹۵ درصد را هم فرض بگیریم خیلی در وضعیت نهایی قبولی محصولات تأثیری نخواهد داشت چنانچه در جدول ۱ مشاهده می‌گردد.

جدول (۱) کاهش احتمال قبولی محصول با افزایش تعداد مشخصه‌ها.

ردیف	نام محصول	تعداد مشخصه‌ها	با فرض احتمال قبولی	
			q = 0.9	q =0.95
۱	دمپایی پلاستیکی	۷	۰/۴۷	۰/۷۰
۲	پوشک بچه	۲۱	۰/۱۱	۰/۳۴
۳	فرش ماشینی	۳۱	۰/۰۴	۰/۲۰

بدین ترتیب روش موجود یا روش صفر و یک، از نظر ساختاری و متدولوژیکی دچار اشکال جدی است. چرا که درصد قبولی به تعداد مشخصه‌ها یا مشخصه‌های کیفی بستگی دارد، هر چه تعداد مشخصه‌ها زیادتر می‌شود، نتایج متدلوژی ضعیف‌تر می‌گردد.

اشکال دوم روش موجود این است که فاقد درجه‌بندی کیفی برای محصول است زیرا وقتی یک مشخصه کیفی مغایر باشد محصول مغایر شناخته خواهد شد و اگر دو مشخصه یا بیشتر هم مغایر شناخته شوند، باز هم روی نتیجه کار اثر نمی‌گذارد. زیرا کماکان محصول مغایر شناخته خواهد شد و این مغایر شناخته شدن محصول نمی‌تواند درجه کیفی محصول را اندازه گیری کرده، آن را نشان دهد. این در حالی است که ما انتظار داریم یک متدلوژی مناسب قادر به اندازه‌گیری درجه کیفی محصول باشد یعنی مثلاً بتواند بگوئد این محصول ۵۰٪ و دیگری ۱۰۰٪ با کیفیت است.

اشکال سوم متدلوژی صفر و یک این است که در حال حاضر همه مشخصه‌های کیفی دارای اهمیت یکسانی نسبت به یکدیگر هستند. به بیان دیگر همه مشخصه‌های کیفی در روش موجود حیاتی و بحرانی (critical) هستند به طوری که خدشه‌دار شدن هر کدام موجب بی کیفیت شدن محصول خواهد شد، در حالی که در واقعیت امر اینطور نیست. مثلاً در مورد پوشک بچه نمی‌توان مشخصه‌ای مانند ؛وزن پوشک؛ را با مشخصه دیگری مانند ؛درصد خاکستر مواد جاذب؛ یکی گرفت. ؛درصد خاکستر؛ عوارض بهداشتی برای کودک دارد در حالیکه ؛وزن پوشک؛ چنین اهمیتی را ندارد. همچنین چگونه می‌توان؛ قدرت جذب آب؛ پوشک را با مشخصه ؛بسته‌بندی پوشک؛ یکسان گرفت. همه این مشخصه‌ها در متدلوژی صفر و یک، یکسان در نظر گرفته می‌شوند.

با توجه به سه اشکال بالا، تحقیقاتی در نیمه دوم سال ۱۳۷۸ در موسسه استاندارد آغاز گردید که هدف توسعه روش جدیدی برای اندازه‌گیری کیفیت با توجه به مشخصه های تشکیل دهنده و درجه اهمیت آنها بود. نتایج این تحقیقات در قالب طراحی روش جدیدی برای اندازه گیری کیفیت محصولات نساجی موضوع این مقاله است.

در بخش۱، ابتدا روش‌های ساده یا کارنامه‌ای مورد مطالعه قرا می‌گیرند. این روش‌ها یا فاقد ساختار (unstructured) سلسله مراتبی هستند و یا از ساختار ساده‌ای برخوردارند که قادر به توصیف مفهوم کیفیت نیستند. نتایج عملی پیاده‌سازی این روش‌ها نشان داده خواهد شد. سپس مباحث نظری مربوط به طراحی روش جدید را در بخش ۲ ارایه می کنیم. بخش ۳ به بررسی ساختار سلسله مراتبی محصول پوشک در قالب مطالعه موردی پرداخته و در بخش ۴ روش جدید پیشنهادی برای تعیین عددی کیفیت را فرموله و پیاده‌سازی می‌کنیم. نشان داده می‌شود که چگونه تئوری فازی (Fuzzy Theory)، تئوری AHP و تئوری تابع کیفیت تاگوچی در چارچوب روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره ما را قادر به توسعه روش جدید برای اندازه‌گیری کیفیت محصولات نساجی می‌نمایند. جمع‌بندی مطالب را در بخش ۵ که بخش پایانی است می‌آید.

۱ـ روش‌های ساده اندازه‌گیری و ارزیابی کیفیت (روش‌های کارنامه‌ای)

در این قسمت ما روش‌های مختلفی که به نظر می‌رسد اندازه کیفیت محصول به کمک این روش‌ها قابل اندازه‌گیری عددی باشد را مورد توجه قرار می‌دهیم و سپس به بررسی نقاط قوت و ضعف آن‌ها می‌پردازیم تا قادر شویم ضرورت توسعه روش

جدید را توصیف و توجیه نماییم. همه این روش‌ها به عنوان روش‌های ساده بدون ساختار یا با ساختار ساده قابل طبقه‌بندی هستند. ما بعداً نشان می‌دهیم که تنها پس از طبقه‌بندی و ریختن عوامل مختلف در یک ساختار سلسله مراتبی مقوله کیفیت جداً قابل اندازه‌گیری خواهد بود.

برای انجام این کار از محصول پوشک بچه که توسط موسسه استاندارد برای این مطالعه پیشنهاد شده است استفاده می‌کنیم. اطلاعات مورد نیاز در مورد این محصول در جدول ۲ ارایه شده است[۱]. مطابق این جدول، ۲۱ مشخصه فنی کیفیت پوشک بچه را توصیف خواهد کرد. این مشخصه‌ها را می‌توان در سه سطح بحرانی، عمده و جزئی هم طبقه‌بندی نمود که نشانه نوعی درجه گذاری روی اهمیت مشخصه‌ها ست و نتیجه کارشناسی های جدید انجام شده در موسسه استاندارد می‌باشد. نتایج این طبقه‌بندی در همان جدول آمده است.

اما چگونه می‌توان با استفاده از اطلاعات موجود در جدول ۲ به اندازه‌گیری عددی کیفیت پرداخت؟ این بستگی به روشی دارد که ما برای اندازه‌گیری کیفیت بکار می‌گیریم.

جدول (۲) مشخصه‌های کیفی پوشک بچه و طبقه‌بندی عوامل آن.

طبقه‌بندی عوامل	نام مشخصه کیفی	حدود استاندارد کوچک بزرگ
عمده	۱- جرم پوشک (گرم)	حداقل ۲۰ حداقل ۲۷
عمده	۲- ضریب جذب	حداقل ۱۵
عمده	۳- زمان جذب (ثانیه)	حداقل ۱۰
عمده	۴- درصد رطوبت موجود	حداکثر ۵/۵
بحرانی	۵- PH	۵/۸-۷/۵
عمده	۶- عیوب ظاهری پوشک کامل	مطابق استاندارد
جزئی	۷- فاصله بین پرس دو سر در لایه خارجی (سانتی‌متر)	حداکثر ۳۳/۷
جزئی	۸- عرض لایه خارجی بین دو خط چسب (سانتی‌متر)	حداکثر ۲۴/۵
جزئی	۹- جرم متر مربع (گرم) لایه خارجی	حداکثر ۲۵
بحرانی	۱۰- جنس لایه خارجی	مطابق با استاندارد ۳۴۰۰
جزئی	۱۱- طول پوشش داخلی (Tissue)	حداقل ۹۵٪ طول توده جاذب
جزئی	۱۲- عرض پوشش داخلی	(پوشش کل سطح جانبی توده جاذب)
عمده	۱۳- جنس پوشش داخلی	(دستمال کاغذی)
عمده	۱۴- طول (سانتی‌متر) توده جاذب	حداقل ۲۷ حداقل ۳۲
عمده	۱۵- عرض (سانتی‌متر) توده جاذب	حداقل ۹/۵ حداقل ۱۱
عمده	۱۶- ضخامت (سانتی‌متر) توده جاذب	حداقل ۱/۴
عمده	۱۷- جنس توده جاذب	پالپ طبیعی
عمده	۱۸- درصد خاکستر مواد جاذب	(دستمال و پالپ حداکثر ۱/۵)
بحرانی	۱۹- واکنش کلیه لایه‌ها در برابر نور ماوراء بنفش (UV)	(مطابق / مغایر)
عمده	۲۰- بسته‌بندی	(مطابق / مغایر)
عمده	۲۱- علامت‌گذاری	(مطابق / مغایر)

روش اول ـ روش صفر و یک (روش مرجع)

این روش روشی مرسوم در مؤسسه استاندارد است. در این روش امتیاز هر مشخصه کیفی؛ صفر، یا؛ یک، است. یک است اگر در محدوده استاندارد تعیین شده قرار گیرد و صفر است اگر خارج باشد. در این صورت اندازه عددی کیفیت محصول، یک، است وقتی همه مشخصه‌های آن تک تک یک بگیرند. اگر بخواهیم این روش را به صورت ریاضی فرموله کنیم می‌توانیم X_i را نمره کیفی مشخصه i ام، را تعداد مشخصه ها و Q را اندازه عددی کیفیت پوشک تعریف کنیم، در این صورت داریم:

$Q = minimum(X1,X2,....Xn)$

$X1,X2,...Xn \varepsilon\{1,0\}$

$Q \varepsilon\{1,0\}$

روش دوم ـ کارنامه‌ای۱

روش مـرجع چنانچه مشاهده شد قادر به تعیین درجه برای کیفیت (quality grade) نیست. محصول یا با کیفیت است و یا فـاقد کیفیـت اسـت. اگر بخواهیم درجه‌بندی را وارد کنیم، طبیعی‌ترین روش این است که به مشخصه‌های کیفی وزن یا امتیاز دهـیم کـه آن را بـا Wi نشـان می‌دهیم. کماکان می‌توانیم فرض می‌کنیم هر مشخصه کیفی دو حالت صفر و یک را می‌گیرد، یعنی Xi ε{1,0}. نمره نهایی محصول از نوعی معدل‌گیری روی امتیاز مشخصه‌ها بدست می‌آید. داریم:

$Q=\sum WiXi/\sum Wi$

$X1,X2,\ldots Xn\ \varepsilon\{1,0\}$

$Q\ \varepsilon[1,0]$

در ایـن صـورت انـدازه کیفـی محصـول از وضـعیت صـفر یـا یـک، یا$Q\varepsilon\{1,0\}$، خارج می‌شود و به وضعیت صفر تا یک، یا $Q\varepsilon[1,0]$ می‌رسد. درست مشابه کارنامه یک دانشجو که معدل او از جمع آثار ناشی از نمرات درس‌های او بدست می‌آید. اثر هر درس در معـدل ناشـی از حاصـل ضـرب نمـره درس و تعـداد واحد درس است. در اینجا معدل یک محصول همان اندازه کیفی محصول یا Q است; نمره درس، اندازه کیفی مشخصه یا Xi است و تعداد واحد همان اهمیت مشخصه کیفی یا Wi است.

اگـرچه بطـور نظـری وزن یـا امتـیاز مشخصه‌ها میتواند متفاوت و متمایز از یکدیگر باشد، اما تعیین کردن آنها در عمل کار سـاده‌ای نیسـت چـراکه بـه دلیل زیاد بودن تعداد مشخصه‌ها خود مستلزم در دست داشتن روش مشخصی است. برای سادگی مـی‌تـوان از طـبقه‌بـندی سـه گانـه بحرانـی، عمده و جزئی مطابق جدول ۲ استفاده کرد و فقط سه وزن را در نظر گرفت. مثلا مطابق با ارزیابی کارشناسان انجمن صنایع سلولزی و بهداشتی ایران می‌توانیم داشته باشیم: $W_{(بحرانی)}$=۷،۵ ، $W_{(عمده)}$=۴ و $W_{(جزیی)}$=۳ . در این صورت اولین روش تعیین اندازه کیفیت پوشک بچه قابل محاسبه می‌گردد:

$$Q=4X1+4X2+4X3+4X4+7.5X5+4X6+3X7+3X8+\ldots+4X21/(4+4+4+4+7.5+4+3+3+..+4)$$

با توجه به اطلاعات جدول ۲ معلوم می‌گردد که در تعیین اندازه کیفی یک پوشک ۲۲ درصد بحرانی‌ها، ۶۰ درصد عمده‌ها و ۱۸ درصد مشخصه‌های جزئی اثر خواهند داشت. اینک معلوم می‌گردد که بهترین نمره‌ای که یک محصول می‌تواند دریافت نماید ۱،۰ است اما نمره ۰،۷۵ و یا ۰،۴۵ هم معنادار است و بنابراین با این روش ما توانسته‌ایم مفهوم درجه کیفیت (quality grade) را وارد کنیم که در مقایسه با روش مرسوم صفر و یک پیشرفته‌تر است.

روش سوم ـ کارنامه‌ای۲

هنگامیکه ما وزن‌ها را ۷،۵و۴و ۳ در نظر بگیریم باید قاعدتا روی قضاوت‌های ما اثر داشته باشد وگرنه چرا ما نیاییم وزن ها را ۳، ۲ و ۱ در نظر بگیریم، درست مشابه دروس دانشگاهی. بدین صورت که ۳ واحد را برای مشخصه‌های بحرانی،۲ واحد را برای مشخصه‌های عمده و ۱ واحد را برای مشخصه‌های جزئی. آیا تغییر اوزان می‌تواند تأثیر بسزایی روی رد و قبول و نیز اندازه کیفیت محصول داشته باشد؟ این سؤالی است که با انجام آزمایشات شبیه‌سازی بررسی خواهد شد و نشان داده خواهد شد که چرا روش های کارنامه‌ای کفایت لازم را برای توصیف عددی کیفیت ندارندو اصلا نسبت به تغییر ضرایب حساس نیستند. اشکالات دیگری هم این روش ساده دارد که امکان استفاده آن را منتفی می‌سازد. در نظر بگیرید پوشک مورد بررسی ما از نظر بهداشتی مشکل داشته باشد که این‌ها را ما به عنوان مشخصه‌های بحرانی می‌شناسیم. در این صورت ما چگونه می‌توانیم چنین پوشکی را قبول کنیم؟ روش سوم از این نظر ناتوان است. برای حل این مشکل ما روش چهارم را پیشنهاد می‌کنیم.

روش چهارم ـ کارنامه‌ای۳

روش دوم و سوم این مشکل را دارند که به کمک آنها نمی‌توان در مورد محصول تصمیم گرفت، زیرا درست است ما به محصول یک عدد بین صفر و یک می‌دهیم ولی ما چگونه به رد یا قبول محصول مبادرت ورزیم؟ یک راه این است که بگوییم اگر بحرانی‌ها رعایت نشده باشند ما محصول را رد می‌کنیم. اما به علاوه، شاخص کلی کیفیت را کماکان محاسبه می‌کنیم، بدون اینکه تاثیری در تصمیم‌گیری در رد وقبول داشته با شد. بدین ترتیب ما به روش چهارم می‌رسیم. در این روش، ممکن

است محصولی با اندازه کیفیت Q= 0.8 قبول شود و ممکن است محصولی با همان اندازه کیفیت رد شود.

خوبی این روش این است که اجازه نمی‌دهد وارد کردن مفهوم ؛ درجه کیفیت؛ باعث شود محصولاتی که حتی مشخصه‌های بحرانی نامناسبی دارند پذیرفته شوند به این دلیل که مثلا نمره کیفی ۰،۸ یا بالاتر دارد. هنوز بحرانی‌ها می‌توانند محصول را رد کنند ولی عمده‌ها و جزیی‌ها نمی‌توانند و این پیشرفتگی بیشتری نسبست به روش مرجع دارد که در آن یک مشخصه جزیی هم می‌توانست باعث ردی محصول گردد.

با این حال این روش یک بدی هم دارد و آن اینکه مفهوم روش امتیازی و کارنامه‌ای مرسوم را زیر سؤال می‌برد و دچار تعارض متدولوژیکی می‌کند، چراکه اگر قرار است یک مشخصه بحرانی ۷،۵ نمره بگیرد لزوما بد بودن این مشخصه در محصول باید همین اندازه هزینه تولید کند. این در حالی است که در روش جدید اندازه این هزینه خیلی بیشتر است. بدین ترتیب ما می‌توانیم روش پنجم را پیشنهاد کنیم.

روش پنجم ـ کارنامه‌ای٤

در این روش که تعدیل یافته روش چهارم است محصول قبول می‌شود اگر اولا: بحرانی‌ها قبول شوند و ثانیا: شاخص کیفیت از حد مشخصی بالاتر باشد. بدین ترتیب، برای اینکه محصولی در این روش پذیرفته شود کافی نیست تنها مشخصه‌های بحرانی آن درست باشند بلکه در مجموع باید اندازه کیفیت آن از حد از پیش تعیین شده‌ای بالاتر باشد. این حد را می‌توان با بررسی نتایج شبیه‌سازی شده روی نمونه‌های موجود و نظرات کارشناسان تعیین نمود. مثلا اگر حد قبولی ۰،۷۵ باشد، آنگاه محصولاتی قبول می‌شوند که اولا بحرانی‌های خوبی داشته باشند و ثانیا شاخص کیفیت بالاتر از۰،۷۵ داشته باشد. این درست مشابه این است که ما نمره قبولی را ۱۵ از ۲۰ در نظر بگیریم.

روش ششم ـ کارنامه ای ۵

در روش پنجم ما حدی را روی اندازه کیفی محصول قرار دادیم. می‌توان این حد را بسته به اینکه مشخصه‌های بحرانی، عمده یا جزیی هستند متفاوت انتخاب نمود و بدین ترتیب به روش متفاوتی برای اندازه‌گیری کیفیت رسید. مثلا حد برای بحرانی‌ها ۹۰ درصد، برای عمده‌ها ۷۵ درصد و برای جزئی‌ها ۵۰ درصد در نظر گرفته شود. انتخاب حدود مناسب به استفاده از نظرکارشناسان و انجام ارزیابی‌های آماری روی سوابق محصولات بستگی دارد.

۱-۱ـ پیاده‌سازی روش‌های کارنامه‌ای و ارزیابی نتایج آن

در این جا با توجه به داده‌های آماری موجود از روی ۹۶ نمونه محصولاتی که در سال ۱۳۷۸ به مؤسسه استاندارد تحویل شده است روش‌های فوق‌الذکر را یکی یکی پیاده‌سازی می‌کنیم. بخشی از نتایج این بررسی‌ها در جدول ۳ مشاهده میگردند[۲] معنای این محاسبات این است که اگر این محصولات به کمک روش‌های کارنامه‌ای ارزیابی شوند، اندازه‌های کیفی مطابق با جدول ۳ بدست می‌آورند. مثلاً در روش مرجع (Test 1) بیشتر محصولات مغایر استاندارد شناخته شده‌اند، چنانچه در جدول با عدد صفر نشان داده شده‌اند. در این موارد حداقل یکی از حدود استاندارد رعایت نشده اســـت. در روش دوم (Test 2) با توجه به اوزانی که از آزمایشات می‌گیرند، اندازه کیفیت محصول به صورت عددی بین صفر و یک بدست می‌آید. تفاوت بین روش دوم و سوم در تفاوت اوزان می‌باشد. در روش چهارم (Test 4) محصول قبول می‌شود اگر آزمایشات بحرانی تأیید شوند. چنانچه در جدول ۳ مشاهده می‌گردد تنها معدودی از محصولات هستند که مشخصه‌های بحرانی را رعایت نکرده و به این دلیل مغایر استاندارد شناخته شده‌اند. روش پنجم (Test 5) سخت‌گیرانه‌تر از روش چهارم است و به همین دلیل تعداد محصولاتی که مغایر شناخته شده‌اند بیشتر شده است. روش ششم کاملاً مشابه روش پنجم درآمده است، اگر چه در تعریف روش اندازه‌گیری تفاوت دارد.

جدول (۳) نمونه محاسبات و نتایج آزمایشات روی روش‌های کارنامه‌ای [۹].

Product Code	Factory Name	Date	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6
	ارمغان شیراز	۷۸/۲/۲۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۰۰۰	ارمغان شیراز	۷۸/۵/۱۱	۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۱	۱	۱
۱۰۰۰	ارمغان شیراز	۷۸/۵/۲۷	۰	۰/۸۸	۰/۸۹	۱	۱	۱
۱۰۰۰	ارمغان شیراز	۷۸/۷/۱۱	۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۱	۱	۱
۱۰۰۰	ارمغان شیراز	۷۸/۸/۹	۰	۰/۸۸	۰/۸۸	۰	۰	۰
۱۰۰۰	ارمغان شیراز	۷۸/۸/۲۴	۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۱	۱	۱
۱۰۰۰	ارمغان شیراز	۷۸/۹/۱۴	۰	۰/۸۴	۰/۸۱	۰	۰	۰
۱۰۰۰	ارمغان شیراز	۷۸/۹/۲۸	۰	۰/۸۵	۰/۸۶	۰	۰	۰
۱۰۰۱	لارژ	۷۸/۶/۲۹	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲۲۲۰	پاییزان	۷۸/۱۰/۶	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲۷۸۰	ارغوان نو	۷۸/۳/۱۶	۰	۰/۹۲	۰/۹۳	۱	۱	۱
۲۸۵۰	آذربمان	۷۸/۷/۲۸	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲۸۵۰	آذربمان	۷۸/۸/۳۰	۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۱	۱	۱
۲۸۵۰	آذربمان	۷۸/۱۰/۱۲	۰	۰/۹۳	۰/۹۳	۱	۱	۱
۲۸۷۰	ارغوان نو	۷۸/۲/۲۵	۰	۰/۹۳	۰/۹۳	۱	۱	۱
۲۸۷۰	ارغوان نو	۷۸/۸/۱۸	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۲۸۷۰	ارغوان نو	۷۸/۱۰/۲۸	۰	۰/۷۴	۰/۷۷	۰	۰	۰
۲۹۰۰	ایران پوشک	۷۸/۵/۲۴	۰	۰/۹۶	۰/۹۶	۱	۱	۱
۲۹۱۰	مبارک	۷۸/۹/۲۰	۰	۰/۷۱	۰/۷۴	۰	۰	۰
۲۹۵۰	پاکان	۷۸/۱/۲۱	۰	۰/۷۴	۰/۷۶	۰	۰	۰
۲۹۵۰	پاکان	۷۸/۳/۳۱	۰	۰/۷۱	۰/۷۳	۰	۰	۰
۲۹۵۰	پاکان	۷۸/۲/۱۹	۰	۰/۷۱	۰/۷۳	۰	۰	۰
۲۹۵۰	پاکان	۷۸/۲/۲۵	۰	۰/۷۰	۰/۷۲	۰	۰	۰
۲۹۵۰	پاکان	۷۸/۳/۱۹	۰	۰/۸۲	۰۰/۸۳	۱	۱	۱
۳۰۰۰	پرتو شبنم لارستان	۷۸/۳/۱۶	۰	۰/۸۷	۰/۷۸	۰	۰	۰
۳۰۰۰	پرتو شبنم لارستان	۷۸/۴/۱	۰	۰/۸۸	۰/۸۸	۰	۰	۰
۳۰۰۰	پرتو شبنم لارستان	۷۸/۴/۱۶	۰	۰/۹۲	۰/۹۲	۰	۰	۰
۳۰۰۰	پرتو شبنم لارستان	۷۸/۵/۱۹	۰	۰/۸۹	۰/۸۹	۱	۱	۱
۳۰۰۰	پرتو شبنم لارستان	۷۸/۷/۱	۰	۰/۷۰	۰/۷۳	۰	۰	۰
۳۰۰۰	پرتو شبنم لارستان	۷۸/۷/۱۷	۰	۰/۷۰	۰/۷۳	۰	۰	۰
۳۰۰۰	پرتو شبنم لارستان	۷۸/۷/۲۱	۰	۰/۷۷	۰/۷۸	۰	۰	۰
۳۰۰۰	پرتو شبنم لارستان	۷۸/۸/۳	۰	۰/۷۰	۰/۷۳	۰	۰	۰

محاسبات تفصیلی روی شش روش بالا را در[۹] مشاهده نمایید. ما در اینجا، خلاصه و جمع‌بندی نتایج آماری مجموعه این محاسبات را در جدول ۴ نشان داده‌ایم.

چنانچه در جدول شماره ۴ مشاهده می‌گردد اگر ما روش صفر و یک مرجع را مبنای کار قرار دهیم، از ۹۶ نمونه محصولی که مورد بررسی قرار گرفته تنها ۲۶ محصول حائز استاندارد و ۷۰ نمونه فاقد استاندارد لازم خواهند شد. در روش دوم که به مشخصه‌ها درجه اهمیت ۷/۵، ۴ و ۳ اختصاص داده شده است (بسته به اینکه مشخصه بحرانی، عمده و یا جزئی باشد) تعداد نمونه محصولات پذیرفتنی به ۳۶ عدد ارتقاء می‌یابد و تنها ۶۰ نمونه مردود شناخته می‌شود چرا که در این روش نمره کیفی بالاتر از ۰/۹۴ قبول می‌شود. روش سوم تفاوتی با روش دوم ندارد اگر چه روش ساده‌تری است[(۱)].

جدول (٤) خلاصه نتایج برخی از روش‌های تعیین کیفیت.

روش	آمار تعداد محصولات		توضیحات
	رد شده	قبول شده	
اول	۷۰	۲۶	حتی اگر یکی از مشخصه ها نتواند حدود استاندارد را رعایت کند محصول مردود خواهد شد
دوم و سوم	۶۰	۳۶	حداقل امتیاز قابل قبول ۹۴/ ۰ است
چهارم	۵۹	۳۷	حداقل امتیاز قابل قبول ۰/۹۴ است
پنجم	۳۶	۶۰	مشخصه های PH, UV و جنس پوشش خارجی بحرانی هستند
ششم	۴۳	۵۳	اوزان مطابق با کارشناسی انجمن صنایع سلولزی

نتایج روش چهارم روی محصولات نمونه نشان می‌دهد که اگر ما فقط کنترل‌های استاندارد را روی مشخصه‌های بحرانی اعمال کنیم یعنی فقط بخاطر مشخصه‌های بحرانی محصول را رد کنیم، در این صورت از ۹۶ نمونه ارائه شده با مؤسسه استاندارد در سال ۱۳۷۸ تعداد ۶۰ نمونه قابل قبول شناخته می‌شوند و تنها ۳۶ نمونه محصول در یکی از مشخصه‌های بحرانی مشکل داشته و بنابراین رد شده‌اند.

همچنین مثلاً در روش پنجم اگر مشخصه‌های بحرانی ارضا شوند و نمره کیفی هم بالای ۰/۷۵ باشد نمونه را می‌پذیریم در این صورت تعداد نمونه‌های قبولی به ۵۳ عدد افزایش و مردودی‌ها به ۴۳ عدد کاهش می‌یابند. در روش ششم وقتی جمع نمرات بحرانی، عمده و جزئی از کران‌های تعریف شده بیشتر شوند محصول قابل قبول شناخته خواهد شد. این معیار باعث می‌شود از ۹۶ محصول در نمونه، ۵۲ مورد پذیرفته شوند. حالا برای اینکه بتوانیم تحلیل حساسیت بهتری روی نتایج داشته باشیم نتایج اجرای روش دوم را به صورت تفصیلی‌تر مورد بررسی قرار می‌دهیم. در اینجا می‌خواهیم نمرات کیفی ۹۶ محصول بررسی شده مطابق با روش آزمون دوم را طبقه‌بندی کنیم، چنانچه در جدول ۵ مشاهده می‌شود.

جدول (۵) بررسی نتایج تفصیلی روش آزمون دوم.

گستره امتیاز کیفی محصول	تعداد یا فراوانی محصول در گستره	درصد	درصد تجمعی
۱	۲۶	۲۶،۸	۲۶،۸
۰،۹۹-۰،۹	۲۱	۲۲،۷	۴۹،۵
۰،۸۹-۰،۸	۱۸	۱۸،۵	۶۸،۰
۰،۷۹-۰،۷	۲۰	۲۰،۷	۸۸،۷
۰،۶۹-۰،۶	۶	۶،۱	۹۴،۸
۰،۵۹-۰،۵	۵	۵،۲	۱۰۰،۰
مجموع نمونه ها	۹۶	۱۰۰،۰	

در این روش همه محصولات و نمونه‌های عرضه شده به موسسه استاندارد نمره کیفی بالاتر از ۰،۵ را دریافت می‌نماید و هیچ محصولی نمره کمتر از ۰،۵ نخواهد گرفت. مطابق ستون تجمعی جدول ۵ معلوم می‌گردد که ۹۴،۸ درصد نمونه‌ها نمره کیفی ۰،۶ به بالا در یافت می‌نمایند و نیز ۴۹،۵ در صد محصولات نمره ۰،۹ به بالا دریافت می‌نمایند.

توزیع نمرات کیفی بدست آمده را در شکل ۱ مشاهده خواهید نمود. چنین توزیعی نرمال نیست و این رفتار برای توصیف کیفیت یک محصول قابل قبول نمی‌باشد و نشاندهنده نا کارآمدی روش‌های اندازه‌گیری کیفیت به صورت کارنامه‌ای است. ما این مشکل متدولوژیکی را در بخش‌های بعد بیشتر بررسی خواهیم نمود.

۲ـ شناسایی و اندازه‌گیری مشخصه‌های کیفی

اندازه‌گیری کیفیت معمولا کاری پیچیده است و انجام موفقیت‌آمیز آن نیازمند ملاحظه نکاتی است که در این بخش به آنها می‌پردازیم. اولین نکته مربوط به ساختار سلسله مراتبی مشخصه‌های کیفی است. گاهی می‌توانیم قیمت در بازار یک محصول مانند خودرو را به صورت مقایسه‌ای به عنوان شاخصی برای کیفیت آن محصول در نظر بگیریم و ارزیابی کلی از آن

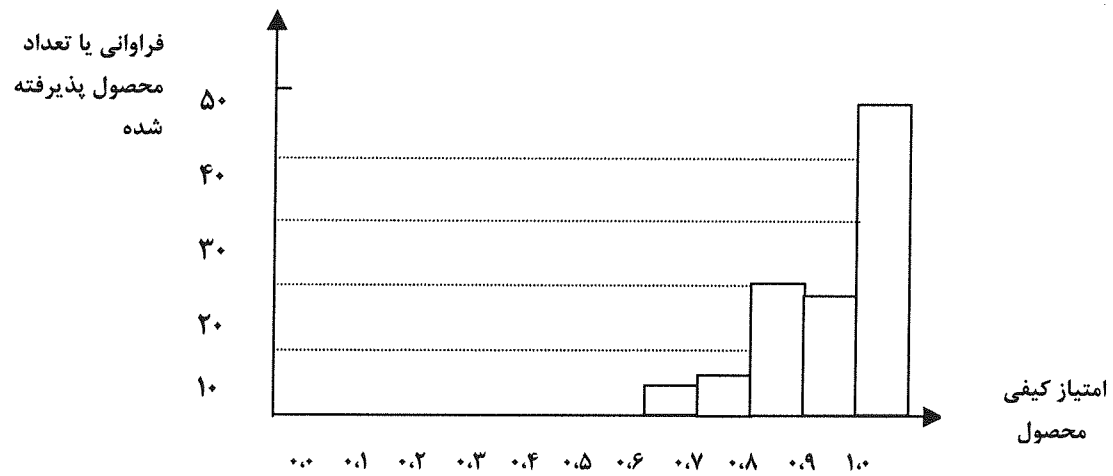
بدست آوریم. با این حال وقتی بخواهیم این ارزیابی از کیفیت را مستند کنیم، لازم است بتوانیم قیمت را به عناصر سازنده آن(مثلاً قوای محرکه، شاسی، اطاق، تزیینات، کشور سازنده و مدل) خرد کنیم. انجام این کار خود به خود ما را مجبور می‌کند تا یک ؛ساختار سلسله مراتبی؛ از مشخصه‌های سازنده کیفیت ایجاد کنیم.

مثلاً برای تعیین کیفیت قوای محرکه، نیاز مند ارزیابی عوامل سازنده قوای محرکه یعنیً موتور، گیربکس، دیفرانسیل هستیم. به این ترتیب اگر قوای محرکه از مشخصه‌های "سطح اولی" هستند، موتور از مشخصه‌های "سطح دومی" هستند. به همین ترتیب مشخصه‌هایی مانند اینکه موتور توسط کدام سازنده ساخته شده است، قدرت موتور چند اسب بخار است، طول عمر موتور چند سال است همه از مشخصه‌های "سطح سوم" هستند. با این حساب اگرعوامل را سطح‌بندی نکنیم، امکان ارزیابی را از دست می‌دهیم. این یکی از خصوصیاتی است که در روش‌های کارنامه‌ای مورد ملاحظه نیست.

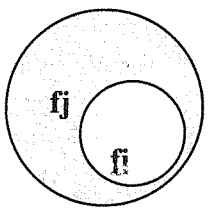
دومین نکته به سرراست نبودن آنچه کیفیت نامیده می‌شود باز می‌گردد. همیشه نمی‌توان همانند مثال خودرو، مشخصه‌های سازنده و توصیف کننده کیفیت را بسادگی شناسایی کرد. معمولا این شناسایی، تجربه و دانش زیادی می‌خواهد و مرور زمان و تجربه بیشتر می‌تواند این شناسایی مشخصه‌ها را دستخوش تغییرات زیادی کند، چنانچه مطالعه پوشک بچه این خصوصیت را بکرات نشان داد[۹]. با این حساب روش اندازه‌گیری کیفیت ما باید انعطاف لازم را برای کنار آمدن با این نوع تغییرات دارا باشد.

نکته سوم مربوط می‌شود به روش آزمایش بعضی از مشخصه‌ها بطوری که بخاطر پیچیدگی و کم دقتی روش آزمایش لازم است چندین بار آزمایش را تکرار کنیم تا از متوسط نتایج آن استفاده نماییم (مثلا مشخصه ضریب جذب آب پوشک را می‌توان مثال زد).

نکته چهارم مربوط به این است که گاهی اثر کیفی یک مشخصه باید به عنوان بخشی از اثر کیفی مشخصه دیگری در نظر گرفته شود. به بیان دیگر دو مشخصه کیفی خاصیت زیر مجموعه بودن نسبت به یکدیگر دارند، چنانچه در شکل ۲ نشان داده شده است. در این شکل مشخصه f_i دارای آثاری است که این آثار در مطالعه مشخصه f_j وجود دارد و بنابراین می‌توانیم بنویسیم: $E(f_i) \subset E(f_j)$ و در این صورت در محاسبه کیفیت تنها محاسبه $E(f_j)$ کافی است. در این صورت اثر کیفی fi حداکثر می‌تواند در برآورد اثر کیفی fj موثر باشد و بنابراین قاعده جمع آثار میان این دو اثر کیفی مطرح نمی‌باشد.



شکل (۱) توزیع فراوانی نتایج روش دوم.



شکل (۲) اثر کیفی مشخصه f_i در اثر کیفی مشخصه f_j دیده شده است.

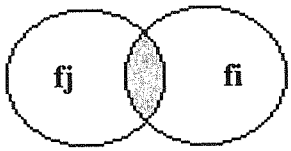
بـه عـنوان مـثال در پوشـک بچـه می‌توان "حجم توده جاذب" را زیر مجموعه‌ای از "ضریب جذب آب " در نظر گرفت، زیرا ضریب جذب آب به حجم توده جاذب بستگی دارد:

E (حجم توده جاذب)

E (ضریب جاذب)

E (حجم توده جاذب) $\subset E$ (ضریب جذب)

بنابرایـن روش مناسب تعیین کیفیت روشی است که فاقد تکرار آثار باشد. نکته پنجم مربوط به زمانی است که دو مشخصه کیفی دارای رابطه زیر مجموعگی نسبت به یکدیگر هستند چنانچه در شکل ۳ مشاهده می‌گردد:

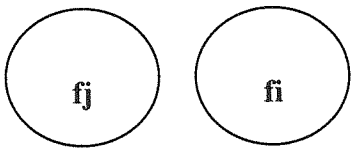


شکل (۳) دو اثر کیفی fi , fj دارای وجوه مشترک هستند.

در این صورت قاعده جمع آثار بصورت زیر قابل اصلاح می‌باشد:

$E(fi)+E(fj)-E(fi \cap fj)$

و ایـن مطـابق با نظریه احتمالات است، برای حوادثی که نسبت به یکدیگر خاصیت Disjunction دارند. در این محاسبه، اثر هر کدام از عوامل جداگانه محاسبه می‌شود ولی بخاطر پرهیز از تکرار آثار از جمع بدست آمده اثر مشترک شان کسر می‌گردد. بـا ایـن حسـاب قـاعده جمـع آثار وقتی دو مشخصه کیفی کاملاً از هم جدا (Disjoint) هستند و هر دو مشخصه هم در کیفیت مؤثر هستند اعمال می‌گردد، چنانچه در شکل ۴ نشان داده شده است و این نکته ششم ما است.



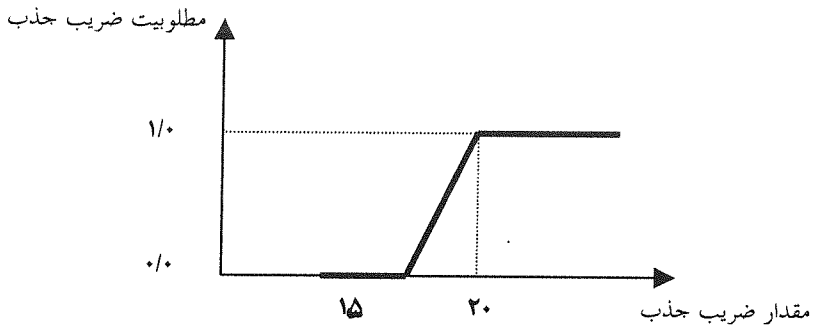
شکل (٤) دو اثر کیفی fj و fi مجزا و مستقل از یکدیگرند.

بـه عـنوان نمونـه مـی‌توان رابطه بین "جنس توده جاذب" و درصد خاکستر" را مثال زد و یا دو مشخصه "درصد رطوبت" و "درصـد خاکسـتر" و یـا دو مشخصـه "بسـته‌بندی" و "علامت‌گذاری" را در نظر گرفت که مشخصه‌های کیفی دوبدو مجزایی از یکدیگر هستیند و بنابراین قاعده جمع آثار در مورد آنها کاملاً صدق می‌کند.

نکـته هفـتم مـربوط بـه وضـعیتی اسـت که خاصیت جمع آثار در مورد اثر مشخصه‌ها نسبت به یکدیگر برقرار نیست و آن هنگامـی اسـت کـه دو مشخصه نسبت به یکدیگر خاصیت Conjunction دارند. مثلاً وقتی پوشک بچه، بهداشتی نیست، ضریب جـذب آب آن هر چه باشد فایده‌ای ندارد و هنگامیکه ضریب جذب آب صفر باشد، بهداشتی بودن یا نبودن آن تاثیری ندارد. در ایـن شـرایط ثاثـیر دو مشخصـه به صورت خاصیت ضرب قابل مدل‌سازی است. خاصیت ضرب به صورت‌های گوناگون می‌تواند عملیاتی شود، از جمله به صورت ضرب معمولی، به صورت تابع حداقل‌گیری، به صورت میانگین‌گیری هندسی و غیره[۹].

۲-۱ـ تعیین تابع کیفیت

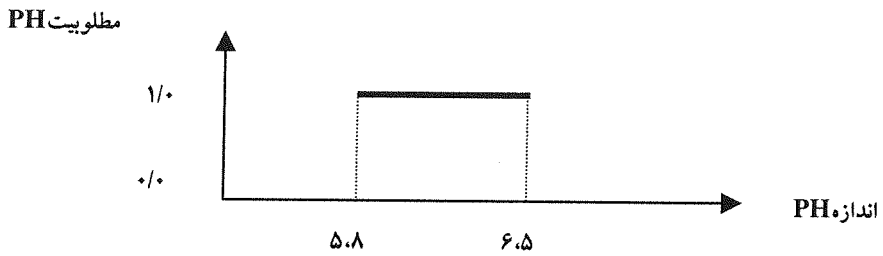
بـرای هـر مشخصـه کیفـی، مـا یک تابع کیفیت تعریف می‌کنیم که مطلوبیت مقادیر مشاهده شده (یا اندازه گیری شده) را نشـان مـی‌دهـد. مثلاً در مورد مشخصه کیفی "ضریب جذب آب" داریم LSL= 15، یعنی اینکه حداقل ضریب جذب قابل قبول ۱۵ اسـت و بنابرایـن محصـولی کـه کمتر از ۱۵ واحد قدرت جذب آب دارد قابل قبول نخواهد بود و رد می شود. اما آیا ضریب جذب ۱۵ با ۲۰ دارای مطلوبیت یکسانی است؟ یعنی برای محصول ما، هر چه ضریب جذب بالاتر باشد بهتر نیست؟



شکل (۵) تابع کیفیت مشخصه جذب آب.

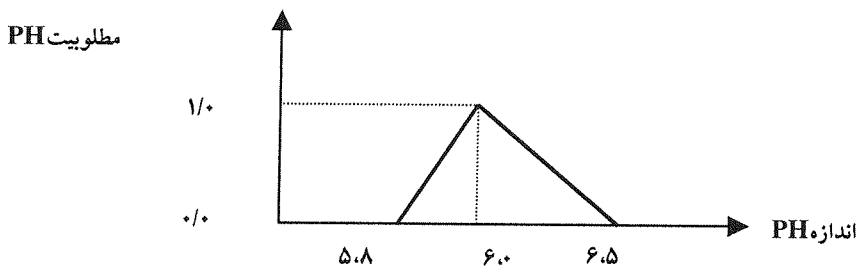
این خصوصیت را ما در تابع کیفیت نشان می‌دهیم. در طراحی تابع کیفیت برای هر مشخصه کیفی لازم است یک حداقل و یک حد مطلوب تعریف گردد، تا در این فاصله، تابع کیفیت بتواند تغییرات مطلوبیت در کیفیت را اندازه‌گرفته و نشان دهد. به عنوان مثال، وقتی حد بالای مطلوبیت در ضریب جذب آب پوشک بچه ۲۰ واحد باشد، در حالی که حداقل مطلوبیت ۱۵ واحد است، آنگاه می‌توان تابع کیفیت را بصورت شکل ۵ تعریف کرد.

در این صورت، اگر ضریب جذب آب کمتر از ۱۵ باشد اندازه تابع کیفیت صفر است و اگر ضریب جذب بالاتر از ۲۰ باشد آنگاه اندازه تابع کیفیت یک است و در این فاصله تابع کیفیت متناسب با مقدار ضریب جذب بصورت خطی بین صفر تا یک تغییر می‌کند. به همین ترتیب، وقتی مشخصه کیفی مورد مطالعه ما دارای حدود بالا و پایین (USL, LSL) است، مثلاً مانند اندازه PH که در حال حاضر دارای LSL= 5.8 و USL = 6.5 می‌باشد، تابع کیفیت را می‌توان بصورت شکل ۶ تعریف کرد که تابعی مربعی است. در این صورت، وقتی اندازه PH واقعی بین این حدود قرار می‌گیرد، مناسب است و دیگر فرقی نمی‌کند که مقدار آن ۶ باشد و یا ۶/۴ .



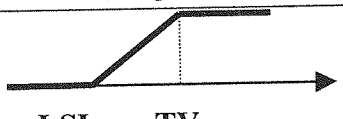
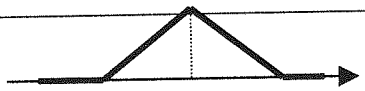
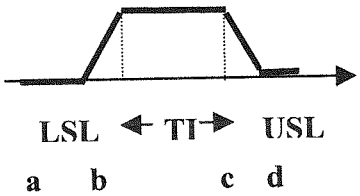
شکل (٦) تابع مربعی کیفیت PH.

اما اگر PH یک مقدار مطلوب یا بهینه(Target Value) داشته باشد بطوریکه هر چه از آن دور شویم مقدار مطلوبیت آن کمتر شود آنگاه شکل ۶ دیگر نمی تواند مناسب باشد و تابعی مانند شکل ۷ می‌خواهد که تابعی مثلثی است و مقدار مطلوب ۶ است.



شکل (۷) تابع مثلثی کیفیت PH.

جدول (۲) انواع توابع کیفیت.

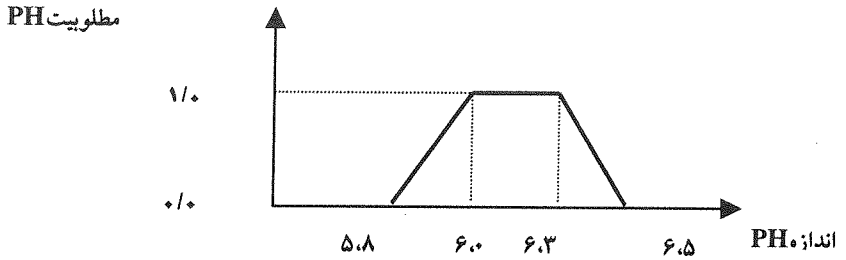
ردیف	وضعیت تغییرات کیفی	شکل تابع کیفیت
۱	هرچه مقدار مشخصه اندازه گیری شده از LSLبیشتر شود کیفیت بهترمی شود تا به مقدار مطلوب(Target Value) برسد.	
۲	هرچه مقدار مشخصه اندازه گیری شده از مقدار مطلوب (Target Value) بیشتر شود کیفیت بدترمی شود تا به USL برسد.	
۳	وقتی کم تر شدن یا بیشتر شدن از مقدار مطلوب(TV) موجب کاهش کیفیت گردد.	
۴	وقتی کیفیت در یک فاصله خیلی خوب است(b-c) ولی در خارج از آن فاصله (a-b, c-d) کاهش می یابد. در این مورد مقدار مطلوب(TV) به بازه مطلوب(Target Interval) تبدیل می شود.	

بدین ترتیب تابع کیفیت مقدار مشاهده یا آزمایش شده را به عددی بین صفر و یک تبدیل می‌کند که نشان دهنده درجه کیفیت تولیدکننده روی مشخصه مورد آزمایش است. برای تعیین تابع کیفیت لازم است نظر کارشناسان فن استعلام گردد تا تابع کیفیت، تابعی خیالی و غیر واقعی نباشد. در عین حال مطالعات آماری و تعیین تابع توزیع احتمال برای تعیین تابع کیفیت بسیار سودمند است، چراکه شکل تابع احتمالی و محاسبه میانگین و انحراف استاندارد آن تا میزان زیادی نشان‌دهنده وضعیت صنعت مورد مطالعه است. به عنوان مثال در حال حاضر وزن پوشک کامل دارای میانگین ۲۱،۹۴ و انحراف استاندارد ۰،۶۹ است که ضریب تغییراتی برابر با ۳،۱ درصد دارد. این در حالی است ضریب جذب آب میانگین ۱۸،۸۴ و انحراف ۲،۴۹ را نشان می‌دهد و بنابراین ضریب تغییراتی برابر با ۱۳،۲ در صد دارد.

هم چنین، زمان جذب آب میانگین ۵،۷۳و انحراف ۳،۳ است که ضریب تغییرات ۵۷،۶ در صد را نشان می‌دهد. مقایسه این سه نمونه نشان می‌دهد که در حال حاضر در صنعت دو مشخصه ضریب جذب و زمان جذب مشکلات بیشتری نسبت به مشخصه وزن دارد زیرا پراکندگی در صنعت خیلی زیاد است. این اطلاعات می تواند به کارشناسان کمک کند تا تابع کیفیت مناسبی را انتخاب کنند. بنابراین اگرچه یک رابطه یک به یک بین تابع توزیع احتمال و تابع کیفیت برقرار نیست اما در تعیین تابع کیفیت استفاده از تابع احتمال ضروری است.

بطور کلی برای تابع کیفیت شکل عمومی‌تری وجود دارد که تابع ذوزنقه ای است، مطابق آنچه در شکل ۸ نشان داده شده است. مطابق با این تابع، وقتیPH بین ۶،۰ الی ۶،۳ است مطلوبیت کامل دارد، اما هر چه از این حدود دورتر می‌شود مطلوبیت آن کاسته شده تا در نهایت به صفر می‌رسد.

هر سه شکل ۵ و ۶ و ۷ حالت‌های خاصی از تابع ذو زنقه‌ای شکل ۸ هستند که شکل تعمیم یافته تابع کیفیت را نشان می‌دهد. درعمل برای هر مشخصه کیفی لازم است شکل مناسب و خاص آن را کارشناسی نمود. در این رابطه مطالعات آماری روی تابع توزیع مشخصه‌ها اطلاعات مفیدی را در اختیار قرار دهد، اگرچه لزوما شکل تابع کیفیت از شکل تابع توزیع گرفته نخواهد شد [۴]. به همین دلیل تابع کیفیت پیشنهادی از ادغام تابع تاگوچی که تابعی احتمالی است با تابع عدد فازی[۶] که تابعی غیر احتمالی است بدست می‌آید(در رابطه با ادغام احتمالات و فازی هم چنین نگاه کنید به [۱۱]). ما در این جا انواع توابع کیفی مورد استفاده در اندازه‌گیری کیفیت محصول را در جدول ۲ نشان داده‌ایم.



شکل (۸) تابع دوزنقه‌ای کیفیت PH.

۲-۲ـ فرموله کردن ریاضی تابع کیفیت

با توجه به مطالب بخش‌های قبل، اینک می توانیم به فرموله کردن عددی تابع کیفیت بپردازیم تا امکان آزمایش و بررسی روش جدید به وجود آید. اگر X_i را مقدار مشاهده شده برای مشخصه iام و qi را اندازه کیفیت ناشی از مقدار مشاهده مطابق با تابع کیفیت تعریف کنیم. هم چنین اگر σ انحراف استاندارد یا پراکندگی مشاهدات را اندازه‌گیری نماید و a, b, c, d حدود تابع کیفیت را نشان دهد. اینک برای سهولت در محاسبه فرض می‌کنیم همه مشخصه‌های کیفی با استفاده از شکل عمومی تابع کیفیت یعنی شکل ذوزنقه‌ای تعریف شوند. ما از این شکل عمومی برای باز تولید ارزیابی کیفیت پوشک بچه سود می‌جوییم. با این حال سه حالت متمایز وجود دارد که به شرح زیر تعریف می‌کنیم:

حالت۱ـ مشخصه‌هایی که دارای کران پایینی یا مقدار حداقلی هستند که مقدار مشاهده شده باید از این کران بالاتر باشد تا قابل قبول شناخته شود (نگاه کنید به جدول ۲). در این مورد می‌توان نوشت:

$$\begin{cases} c = \text{مقدار حداکثر} \\ d = c + \frac{1}{2}\sigma \\ b = c - \sigma \\ a = c - 2\sigma = b - \sigma \end{cases}$$

در واقع LSL=b است که مقداری غیرفازی است، اما در تابع مورد نظر ما نقطه b به فاصله b الی b+ σ تبدیل شده است که این خود نوعی فازی‌سازی (fuzzification) را در بردارد. معنایش این است که با توجه به پراکندگی یا انحراف معیار موجود در صنعت ما عدد غیر فازی b را به عدد فازی b الی c تبدیل کرده‌ایم، تا انعطاف لازم بوجود آید. از طرف دیگر اندازه دوری c از b بستگی به اندازه پراکندگی یاσ دارد که خود نشاندهنده وضعیت یا طبیعت موجود در صنعت است. بصورت ایده‌آل اگر σ=0 باشد آنگاه نقطه b و c هم یکی خواهند شد. از طرف دیگر در این تابع کیفیت اندازه کیفیت یا qi در فاصله b و الی c برابر یک است و وضعیت ایده‌آل را نشان می‌دهد، اما دور شدن از مقادیر مرزی b یا c باعث کاهش اندازه کیفیت می‌شود و این دومین خاصیت فازی‌سازی تابع کیفیت در مدل مورد نظر ماست. البته می‌توان با انتخاب ضریب مناسب اندازه این فازی سازی را کنترل کرد. در حال حاضر ضریب ۰،۵ و ۲ برای نقاط a و d انتخاب شده که می‌تواند تغییر نماید

حالت۲ـ مشخصه‌هایی که دارای کران بالایی یا مقدار حداکثری هستند که مقدار مشاهده شده باید از این کران کمتر باشد تا قابل قبول شناخته شود (نگاه کنید به جدول ۲).

$$\begin{cases} c = \text{مقدار حداکثر} \\ d = c + \frac{1}{2}\sigma \\ b = c - \sigma \\ a = c - 2\sigma = b - \sigma \end{cases}$$

حالت۳ـ مشخصه‌هایی که هم کران بالا و هم کران پائین دارند و به اصطلاح فاصله‌ای هستند(نگاه کنید به جدول ۲).

$$\begin{cases} b = \text{مقدار حداقل} \\ c = \text{مقدار حداکثر} \\ b = c + \sigma \\ a = b - \sigma \end{cases}$$

حـالا بـا توجـه بـه اینکه همه مشخصه‌ها به صورت ذوزنقه‌ای مطابق سه حالت بالا تعریف شده‌اند، مقدار یا اندازه کیفی هر مشخصه با توجه به اینکه در کدام بخش ذوزنقه قرار گیرد بصورت زیر تعیین می‌شود:

If	$X_i < a$	then	$q_i = 0.0$
If	$a \le X_i < b$	then	$q_i = [a/(a-b)] + [1/(b-a)]X_i$
If	$b \le X_i < c$	then	$q_i = 1.0$
If	$c \le X_i < d$	then	$q_i = [d/(d-c)] + [1/(c-d)]X_i$
If	$d \le X_i$	then	$q_i = 0.0$

به عنوان می‌توانیم تابع عددی کیفیت برای مشخصه ضریب جذب پوشک را به شرح زیر محاسبه نماییم:

81= تعداد مشاهده شده

$\overline{X}_5 = 18.84$ میانگین مقدار مشاهده شده

$\sigma = 2.49 \approx 2.5$ انحراف استاندارد مشاهده شده

LB = 15.00(حداقل) حد قابل قبول

بـا توجـه بـه ایـنکه ضـریب جـذب دارای کران پایین (LB) است پس باید مدل کیفیت مورد نظر ما مدلی حداقلی باشد. بدین ترتیب محاسبات مربوط به ضریب جذب را نشان خواهیم داد.

$LB = 15$ و $b = 15$

$$a = b - \frac{1}{2}\sigma = 15 - \frac{1}{2}(2.5) = 15 - 1.25 = 13.75$$

$$c = b + \sigma = 15 + 2.5 = 17.5$$

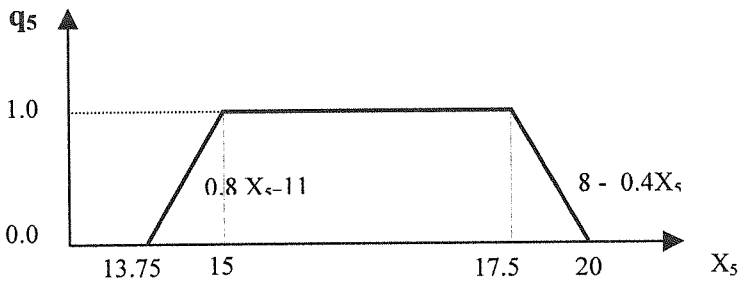
$$d = c + \sigma = 17.5 + 2.5 = 20.0$$

و حالا در فاصله $13.75 \le X_5 \le 20.0$ خواهیم داشت:

$$q_5 = \frac{d}{d-c} + \frac{1}{c-a}.X_5 \;,\; q_5 = \frac{13.75}{13.75-15} + \frac{1}{15-13.75}.X_5$$

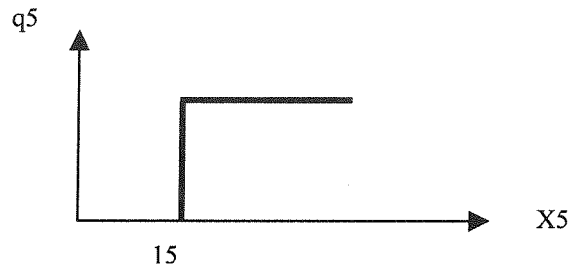
$$q_5 = 8 - 0.4X_5$$

با این حساب تابع کیفیت مربوط به ضریب جذب آب بصورت شکل ۹ کاملاً توصیف می‌گردد.



شکل (۹) محاسبات تابع کیفیت برای ضریب جذب آب.

بدیـن ترتیـب مشاهده می‌گردد که تابع کیفیت برای مشخصه ضریب جذب آب به صورتی که ما فرموله کردیم با آنچه قبلاً مـورد اسـتفاده قـرار می‌گرفت تفاوت‌های جدی پیدا کرده است و این تفاوت‌ها با ادغام خواص تابع زیان تا گوچی و اعداد فازی بصـورت کـاملاً جدیـدی امکان‌پذیر گردیده است که مهمترین خاصیت این تابع کیفیت قدرت توصیف‌کنندگی واقعیت کیفیت مورد مطالعه ما است. اینک برای اینکه معلوم گردد تابع کیفیت ما چه تفاوت‌هایی را ایجاد می‌کند به شکل ۱۰ نگاه می‌کنیم.



شکل (۱۰) تابع کیفیت برای حالت غیرفازی.

در ایـن شکل دیده می‌شود که اندازه کیفیت تنها دو مقدار صفر یا یک را گرفته است بدین صورت که اگر $X_5 \leq 15$ باشد، آنگـاه $q_{5=0}$ و اگـر $X_5 > 15$ باشـد آنگـاه $q_{5=1}$ اسـت و ایـن بـیان دیگری از وضعیت صفر و یکی یا غیرفازی تابع کیفیت در چنین وضعیتی است.

ایـن در حالـی اسـت کـه در تـابع کیفیت ما (شکل ۹) انتقال از $q_{5=0}$ به $q_{5=1}$ بصورت تدریجی اتفاق می‌افتد و نه به صورت ناگهانـی. بدیـن در روش جدیـد اندازه کیفیت در فاصله ۱۳/۷۵ تا ۱۵ مقداری بین صفر تا یک می‌گیرد. زیرا هر چه از ۱۵ دورتر مـی‌شود، کیفیت تنزل می‌یابد. اما از طرف دیگر وقتی ۱۵ حداقل قابل قبول است قاعدتاً ۱۶ و ۱۷ و بالاتر هم قابل قبول خواهد بود. در این جا کیفیت تنزل می‌یابد.

امـا از طرف دیگر وقتی ۱۵ حداقل قابل قبول است قاعدتاً ۱۶ و ۱۷ و بالاتر هم قابل قبول خواهد بود در این جا است که ما از مفهوم پراکندگی موجود در صنعت که با σ اندازه‌گیری می‌شود استفاده می‌کنیم و گستره تغییرات X5 در مرحله بالاتر از ۱۵ را مشـخص کرده‌ایم به ترتیبی که در شکل ۹ مشاهده می‌گردد. در این طرف هم انتقال از سطح کیفی یک به سطح کیفی صفر و (به دلیل غیر ممکن بودن) تدریجی انجام می‌پذیرد.

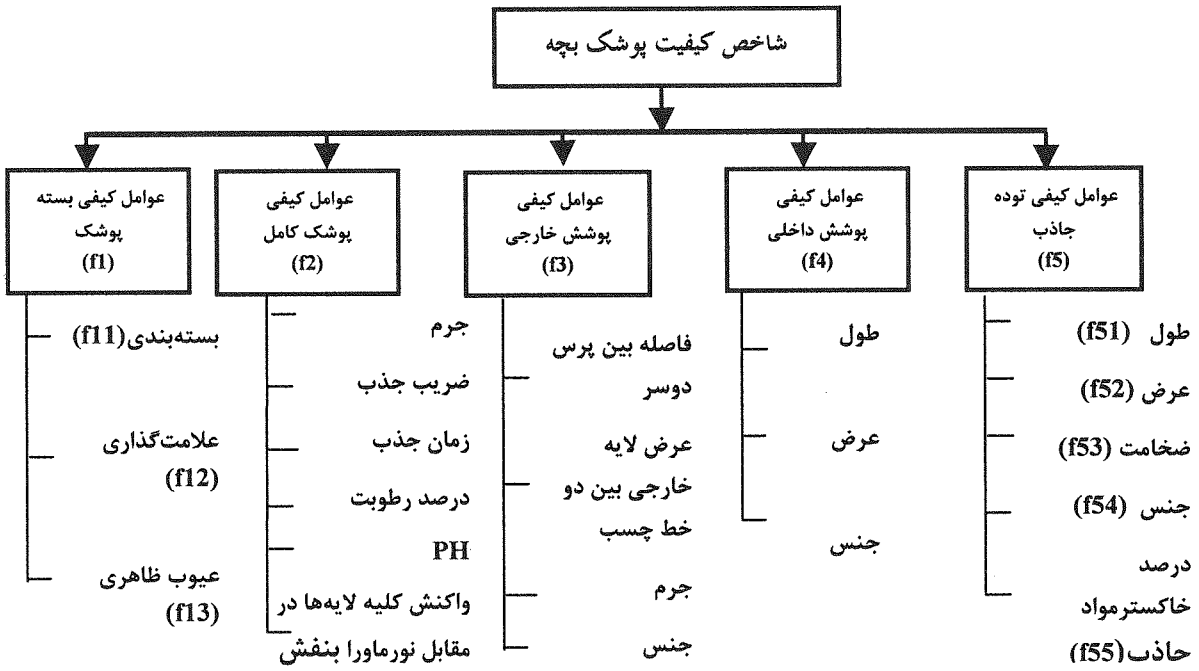
جدول (۷) چگونگی فرموله کردن تابع ذوزنقه‌ای کیفیت.

نوع مشخصه کیفی	d	c	b	a
وقتی دارای کران پایین است	$b + 2\sigma$	$b+\sigma$	کران پایین	$b - 1/2\sigma$
وقتی دارای کران بالایی است	$c + 1/2\sigma$	کران بالا	$c-\sigma$	$b-\sigma$
وقتی دارای کران بالا و پایین است	$c+\sigma$	کران بالا	کران پایین	$b-\sigma$

بـا ایـن حساب ما بر اساس اینکه تابع ذوزنقه‌ای شکل عمومی تابع کیفیت ما باشد نتایج نهایی پارامترهای این تابع را در جـدول ۷ گـرد آورده‌ایـم. مجـدداً تأکید می‌گردد که هم شکل ذوزنقه‌ای و هم اندازه پارامترها متناسب با طبیعت محصول و مشخصـه کیفـی دوره مطالعـه انعطـاف‌پذیـر خواهند بود و این مهمترین خصوصیت نظریه فازی است که در روش جدید مورد اسـتفاده قـرار گرفته است،در این رابطه بررسی تابع توزیع احتمالی مشخصه کیفی مورد نظر و ارزیابی کارشناسان امکان تعیین تابع کیفیت را بخوبی بوجود می‌آورد.

۳ـ بررسی ساختار سلسله مراتبی مشخصه‌های کیفی پوشک بچه

مـا در بخـش قـبل چگونگـی فرمو له کـردن تـابع عددی کیفیت را ارایه کردیم. اینک برای اینکه فرمول نهایی اندازه‌گیری کیفیـت را بدست آوریم لازم است ساختار سلسله مراتبی مشخصه‌ها تعیین نماییم. چندین روش را برای بررسی ساختار سلسله مراتبی کیفیت پوشک در این قسمت مورد مطالعه قرار می‌دهیم. اولین روش، روشی براساس ترتیب آزمایشات است، چنانچه در شکل ۱۱ دیده می‌شود.



شکل (۱۱) طبقه‌بندی فیزیکی مشخصه‌ها بر اساس توالی عملی آزمایشات.

در ایـن روش در مرحله اول عواملی مانند عیوب ظاهری یا علامت‌گذاری‌های لازم روی بسته‌بندی (مانند تاریخ، نام سازنده، انـدازه پوشـک و غـیره) و سـالم بودن بسته‌بندی (از نظر پرفراژها) مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس بسته پوشک باز می‌شود و روی یـک عدد پوشک آزمایشاتی انجام می‌شود و به همین ترتیب تا به توده جاذب می‌رسیم. البته لزومی ندارد، همه آزمایشات روی یک پوشک خاص انجام شود و از پوشک‌های مختلف موجود در بسته استفاده می‌شود. با این حال مبنای طبقه‌بندی توالی عملـی آزمایشـات اسـت و ما باید قادر باشیم، امتیاز یا اهمیت هر طبقه را تعیین کنیم تا امکان محاسبه شاخص کیفیت بوجود آید. یعنی بنویسیم:

$$E(\text{کیفیت پوشک})=E(f1)+E(f2)+E(f3)+E(f4)+E(f5)$$

آنگاه برای طبقه اول بنویسیم:

$$E(f_1) = E(f_{11}) + E(f_{12}) + E(f_{13})$$

و به همین ترتیب برای طبقه پنجم بنویسیم:

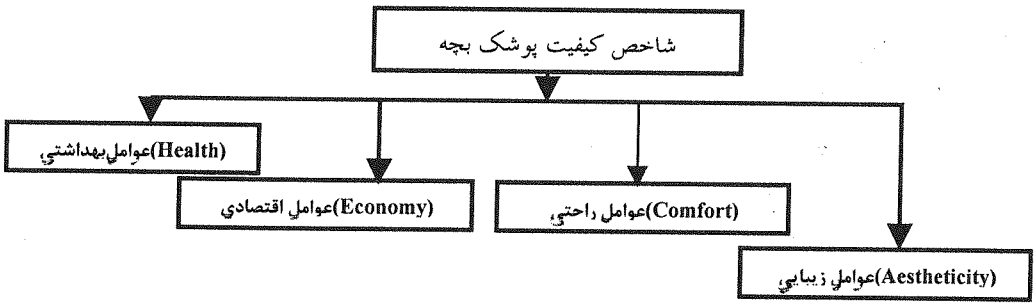
$$E(f_5) = E(f_{51}) + E(f_{52}) + E(f_{53}) + E(f_{54}) + E(f_{55})$$

بعـنوان مـثال مـا بـاید بدانیم چقدر از تأثیر کیفیت کل به عوامل بسته پوشک (f_1) اختصاص دارد و چقدر به عوامل پوشک کامل (f_2) بستگی دارد، سپس در قدم بعد باید بتوانیم تأثیر بسته‌بندی(f_{11}) و علامت‌گذاری(f_{12}) و عیوب ظاهری (f_{11}) را اندازه بگـیریم. بـا توجه به اینکه طبقه‌بندی بالا براساس محتوای کیفی پوشک نیست جداً پاسخ دادن به این سؤالات غیرممکن است. بـا ایـن حسـاب شـاید مناسب‌تر باشد طبقه بندی فیزیکی مربوط به پوشک را کنار بگذاریم و نوعی طبقه‌بندی محتوایی را بکار گـیریم، چنانچه در شکل ۱۲ مشاهده می‌گردد. در این روش طبقه‌بندی مشخصه‌ها بر اساس بحرانی بودن، عمده بودن و جزئی بودن آنها انجام می‌گیرد.

در ایـن روش فـارغ از اینکه چه مشخصه‌ای چه زمانی و با چه ترتیبی آزمایش می‌شود ما همه عوامل کیفی را در سه سطح بحرانـی، عمـده و جزئـی طـبقه‌بندی می‌کنیم. مشکل طبقه‌بندی بالا در تعریف عوامل است. در واقع ما می خواهیم بدانیم چرا یک عامل بحرانی می‌شود و عامل دیگر عمده یا جزئی می‌شود. چگونه؟ با چه تعریف روشنی؟

مطـابق بـا یـک نظـر پوشـک بچـه دارای سه عامل بحرانی است که عبارتند از: «مقاومت در مقابل UV» و «جنس پوشش خارجی». از طرف دیگر مطابق با نظر دومی «درصد رطوبت» و «جنس پوشش داخلی» و درصد خاکستر هم بحرانی هستند.

بـه همیـن ترتیـب مطابق با نظر اول «بسته‌بندی» عامل عمده است در حالیکه مطابق با نظر دوم «بسته‌بندی» عامل جزئی اسـت. بـا ایـن حسـاب بـا چـه تعریفـی یک مشخصه بحرانی یا غیربحرانی است؟ به همین ترتیب چگونه یک مشخصه را عمده (Major) و مشخصـه دیگـری را جزئـی (Minor) در نظر بگیریم. برای این کار باید به تعریف و مرزبندی روشنی رسید. بنابراین بـدون تعریف روشن از بحرانی، عمده و جزیی این طبقه‌بندی (مطابق با شکل ۱۲) خیلی با طبقه‌بندی قبلی (مطابق شکل ۱۱) تفـاوت نـدارد. یعنـی مشـکل مـا را نمـی‌توانـد حـل کـند. هـنوز ایـن طـبقه‌بـندی محتوایی نیست. بدین ترتیب ما وارد روش سـوم‌مـی‌شـویم. در روش سـوم کـه براسـاس ماهیـت یـا محـتوای کـاری پوشک قرار دارد چنانچه در شکل ۱۳ دیده می‌شود، مشخصه‌هایی کیفی مطابق با تأثیری که در کیفیت ایجاد می‌کنند طبقه‌بندی شده‌اند.

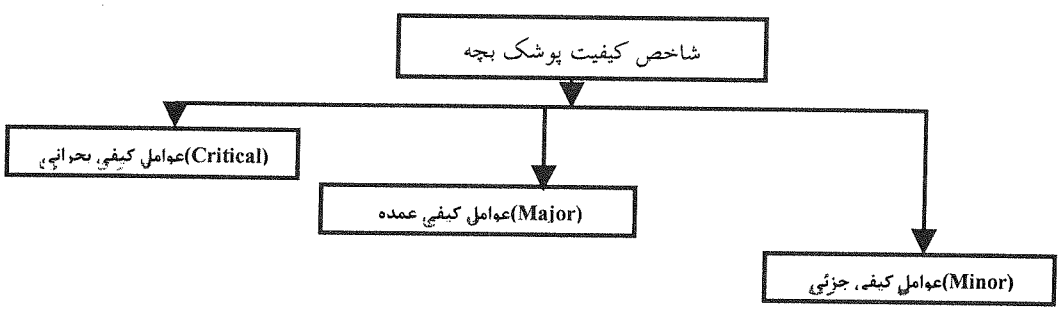


شکل (۱۲) طبقه‌بندی محتوایی مشخصه های کیفی در سه سطح.

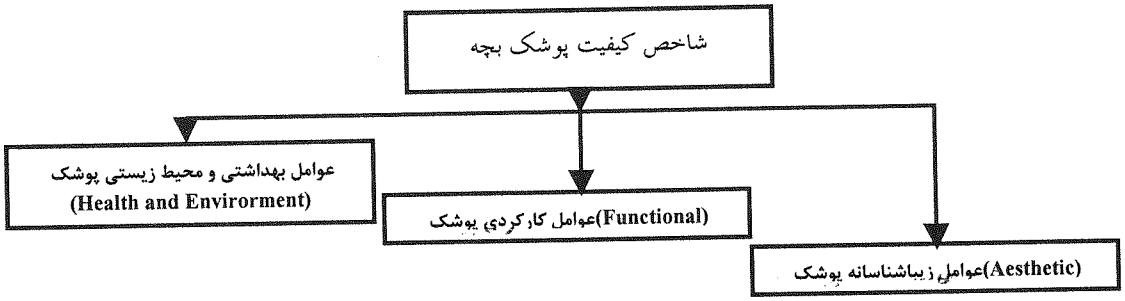
واقعیـت ایـن اسـت که عوامل بهداشتی در درجه اول اهمیت قرار دارد چرا که با سلامت و بهداشت کودک و مادر سر و کار دارد. سـپس در مـرحله دوم راحت بودن و اقتصادی بودن پوشک مورد توجه قرار می‌گیرد و در مرحله سوم عوامل زیباشناسانه مانـند طـرح روی بسـته‌بـندی یـا نقاشی‌های روی پوشک (در مورد پوشک کامل) می‌تواند جذاب کننده پوشک باشد اما عوامل زیـباشناسـانه پـس از اینکه پوشک بهداشتی است و اقتصادی است و راحتی می‌آورد مطرح است،چنانچه در شکل ۱۳ مشاهده می‌گردد.

ایـن طـبقه‌بـندی کمـی بهـتر از طـبقه‌بـندی‌هـای قبلی است زیرا به محتوا و کارکرد پوشک توجه می‌کند و مثلاً راحتی و اقتصـادی بـودن را بصـورت صـریح مـورد اعتـنا قـرار مـی‌دهـد. حالا کاری که باید انجام شود اختصاص دادن عوامل موجود به گـروه‌بـندی بالاست. در این ارتباط می‌توان ظرفیت یا «ضریب جذب آب» و «سرعت جذب آب» را از جمله عوامل اقتصادی در نظـر گرفـت اگـر چـه قیمت یا هزینه تهیه پوشک هم به عنوان عامل دیگری می‌تواند در کنار عوامل فوق مطرح باشد. این سه عامل با هم اقتصادی بودن یا نبودن پوشک را تعریف می‌نمایند.

عوامل راحتی در واقع مشخصات فیزیکی و ابعادی را در بر می‌گیرد و شامل عوامل مانند وزن، حجم و غیره می‌گردد. عوامل زیباشناسـانه شـامل عـیوب ظاهـری و احـتمالاً طـرح و نقاشـی روی پوشـک کـامل را در بر می‌گیرد. حالا اگر عوامل راحتی و اقتصـادی بـا هـم یکجـا بگـیریم و عوامـل بهداشتی را شامل عوامل محیط زیستی هم قرار دهیم آنگاه می‌توانیم در طبقه‌بندی محتوایی به ساختار مناسب‌تری برسیم. چنانچه در شکل ۱۴ مشاهده می‌گردد.



شکل (۱۳) طبقه‌بندی مشخصه‌ها در سه سطح بحرانی، عمده و جزئی.

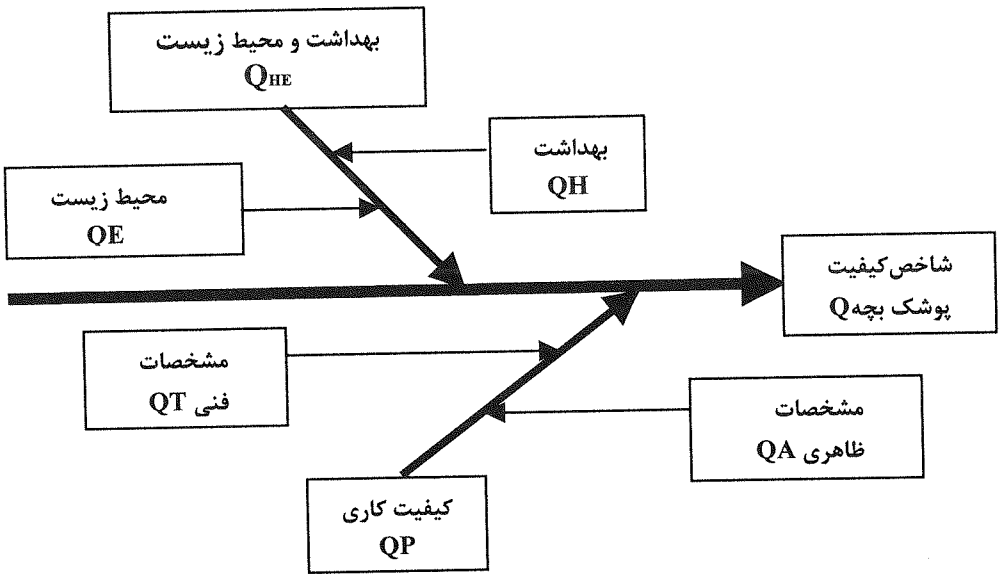


شکل (١٤) طبقه‌بندی محتوایی و سه سطحی کیفیت پوشک.

در حال حاضر محیط زیست اهمیت فوق العاده‌ای دارد. باید اطمینان حاصل کرد که محصولاتی مانند پوشک به طبیعت زیان وارد نمی کنند. در محیط زیست دو عامل اساسی وجود دارد. یکی اینکه مواد مصرفی قابل بازیافت(recycleability) باشند و اگر نیستند این مواد در چرخه طبیعت قابل متلاشی شدن(degradability) باشند.

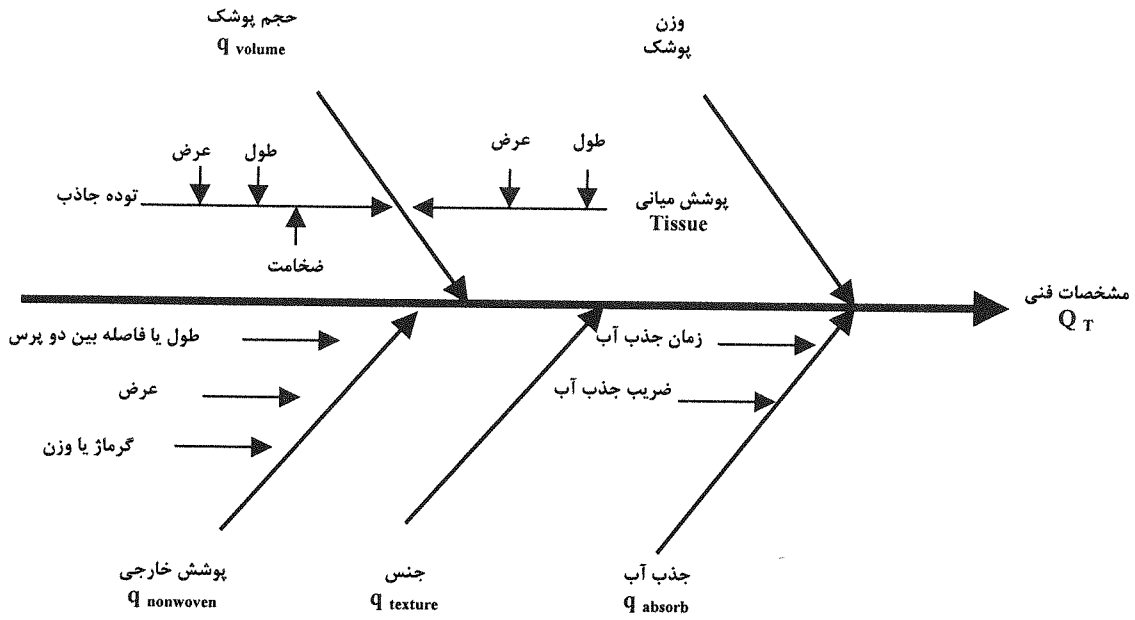
پس از عوامل بهداشتی و محیط زیستی که بالاترین سطح اهمیت دارند عوامل عملکردی یا کارکردی در سطح دوم مطرح می گردند چنانچه در شکل ۱۴ دیده می شود. عوامل کارکردی در واقع علت و انگیزه خرید پوشک از طرف خریدار را نشان می‌دهد. وقتی کار پوشک خوب است آنگاه سطح سوم عوامل که زیبایی ظاهری آن را نشان می‌دهد مهم می‌شوند. پس اگر بخواهیم روی کیفیت پوشک قضاوت کنیم ایرادی ندارد اگر بگوییم برای مصرف‌کننده ابتدا مشخصه‌های بهداشتی ـ محیط زیستی مهم هستند. بنابراین اگر پوشک از این نظر ایرادی نداشته باشد مصرف کننده برایش مشخصه‌های کارکردی مهم می‌شوند و وقتی از کارکرد محصول رضایت داشته باشد مشخصه‌های زیباشناسانه مهم خواهند شد. پس تصمیم‌گیری مرحله‌ای است و روش اندازه‌گیری ما هم باید متناسب باشد.

اینک برای اینکه طرح ایده آل و جامع شکل ۱۴ را با واقعیت موجود در جدول ۲ مطابقت دهیم و به فرمول محاسباتی برسیم می توانیم از نمودار استخوان ماهی شکل ۱۵ استفاده کنیم. در این طرح شاخص کیفیت که با Q نشان داده شده است دارای دو مولفه اصلی است که یکی مولفه ؛بهداشت و محیط زیست؛ است که باQHE نشان داده شده است و دومی مولفه؛ کیفیت کاری؛ است که با QP نشان داده شده است. هر کدام از این دو مولفه اجزایی دارند که در شکل۱۵ مشاهده می گردند.



شکل (١٥) نمودار استخوان ماهی.

در مقایسه با شکل ۱۴ معلوم است که دو بخش ؛عوامل کارکردی؛ و ؛عوامل زیباشناسانه؛ در مولفه ؛کیفیت کاری؛ به صورت مشخصات ظاهری و مشخصات فنی ظاهر شده‌اند. با همین منطق ساختار سلسله مراتبی این مولفه را بدست آورده‌ایم که در این جا ساختار مربوط به کیفیت فنی یاQT را در شکل ۱۶ ارایه می نماییم.



شکل (۱۶) نمودار استخوان ماهی برای ساختار سلسله مراتبی مشخصات فنی پوشک.

اینک با ملاحظه بررسی‌های بالا می‌توان با استفاده از ماتریس مقایسات زوجی درجه اهمیت نسبی عوامل را نسبت به یک دیگر بدست آورد این البته شامل مواردی می‌شود که رابطه جمع پذیری برقرار هست. به عنوان مثال، سلسله مراتب تصویر شده در شکل ۱۶در اولین سطح خود به ماتریس زیر تبدلیل می‌شود که در آن اهمیت مشخصه‌ها با مقیاس ۱ الی ۹ مطابق روش AHP تعیین شده است(برای بررسی روش‌های محاسباتیAHP نگاه کنید به[۶ و۷ و ۸] و برای بررسی جزییات این مرحله نگاه کنید به [۹و۱۰]).

$$\begin{array}{l} \text{وزن} \\ \text{حجم} \\ \text{پوشش خارجی} \\ \text{جنس} \\ \text{جذب} \end{array} \begin{bmatrix} 1 & 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{9} \\ 1 & 1 & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{9} \\ 2 & 2 & 1 & 1 & \frac{1}{4} \\ 2 & 2 & 1 & 1 & \frac{1}{4} \\ 9 & 9 & 4 & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

۴ـ تعیین فرمول کیفیت

ما در این بخش به فرموله کردن عددی کیفیت محصول می‌پردازیم که بر اساس نتایج دو بخش۲ و ۳ قرار دارد. [۱۳] هم چنین انتخاب استراتژی مناسب از طرف موسسه استاندارد در انطباق با وظایف دولت مدرن می‌تواند بر تعیین فرمول کیفیت اثر گذارد که در مقاله[۱۲] بررسی شده است.

مطابق با شکل ۱۵ساختار سلسله مراتبی مشخصه‌ها در اولین سطح خود از دو مولفهQHE و QP تشکیل گردیده‌اند و

بنابراین ما برای فرموله کردن اندازه کیفیت محصول می‌توانیم بنویسیم:

Q=f(کیفیت کاری پوشک، کیفیت بهداشتی و محیط زیستی پوشک) =f(QHE,QP)

برای تعریف این تابع باید به رابطه بین این دو توجه کرد. اگر این دو مولفه جمع‌پذیر بودند، ماتریس مقایسه زوجی می‌توانست اهمیت نسبی این دو را تعیین کند. اما بررسی‌ها کارشناسی نشان داد که خاصیت جمع‌پذیر ی بین این دو مولفه وجود ندارد، بلکه خاصیت ضرب‌پذیری وجود دارد و بنا براین ما تابع بالا را با روش میانگین هندسی به صورت زیر تعریف می‌کنیم (برای بحث تفصیلی روی علت این انتخاب نگاه کنید به [۹]):

$$Q=[QHE.QP]^{\frac{1}{2}}$$

در این صورت اگر مشخصه‌های بحرانی (یا بهداشتی ـ محیط زیستسی) مقدار صفر بگیرند باعث رد شدن محصول می‌گردند. هم چنین داریم:

$$QHE=[QH.QE]^{\frac{1}{2}}$$

$$QH=[qbio.qdust.qhumidity.qph.quv]^{\frac{1}{5}}.q_{material}$$

که درآن:

q_{bio} کیفیت مشخصه بیولوژیکی را شان می‌دهد که در حال حاضر در مدیریت دیگری بررسی می‌شود.

q_{dust} کیفیت مشخصه درصد خاکستر مواد جاذب را نشان می‌دهد.

$q_{humidity}$ کیفیت مشخصه درصد رطوبت را نشان می‌دهد.

q_{PH} کیفیت مشخصه PH را نشان می‌دهد.

q_{UV} کیفیت مشخصهUV را نشان می‌دهد.

در این جا هم رابطه ضرب‌پذیری بین مشخصه‌ها برقرار است و بنابراین از میانگین هندسی استفاده شده است. برای محاسبه کیفیت ناشی از جنس می‌توانیم بنویسیم:

$$q_{material} = [q\ (\text{جنس توده جاذب}) ،q\ (\text{جنس لایه خارجی}) ، q\ (\text{جنس لایه میانی})]^{1/3}$$

که در آن (جنس توده جاذب) q کیفیت ناشی از جنس مواد مصرفی در توده جاذب است؛ (جنس لایه خارجی) q کیفیت ناشی از جنس لایه خارجی است و (جنس لایه میانی) q کیفیت جنس مواد مصرفی در لایه میانی است. بطور کلی بررسی جنس مواد مصرفی در پوشک از این نظر انجام می‌گیرد که مواد از نوع بهداشتی (هایژن) باشند و نه از نوع غیربهداشتی (آلرژن). همچنین لازم به ذکر است که برخی از کارشناسان معتقد هستند بررسی جنس لایه میانی (Tissue) عملاً با بررسی UV و درصد خاکستر انجام می‌پذیرد. بدین صورت که اگر q_{UV} ، q_{dust} خوب باشد، قاعدتاً لایه میانی q هم خوب خواهد بود بنابراین آوردن لایه میانی q تکراری است. حتی اگر این استدلال را بخواهیم در نظر بگیریم با توجه به نوع فرمولی که برای تعیین کیفیت جنس ($q_{material}$) معرفی کرده‌ایم مشکلی ایجاد نخواهد شد، زیرا این فرمول با خاصیت ضرب آثار تولید شده است و بنابراین فاقد ضرر و زیان خواهد بود چرا که عملاً دو بار در کیفیت محصول ما اثر نخواهد گذاشت.

QE=0.5qdegrad+0.5qrecycle

که در آن:

q_{degrad} کیفیت مشخصه تجزیه پذیری را نشان می دهد.

$q_{recycle}$ کیفیت مشخصه قابلیت بازیافت مواد را نشان می دهد. این دو مشخصه در تعریف استاندارد ۱۳۷۸ موجود نمی‌باشد و ما در محاسبات خود هر دو را برابر یک می‌گیریم.

$Qp=0.75QT+0.25QA$

کـه در آن Q_T کیفیـت ناشـی از خصوصـیات فنـی محصـول اسـت و Q_A خصوصیات ظاهری پوشک را نشان می‌دهد. البته می‌دانیم که:

$$Q_T = 0.6qabsorb + 0.15qtexture + 0.15qnonwoven + 0.05qvolume + 0.05qweigh$$

که در آن qabsorb کیفیت ناشی از جذب آب پوشک را نشان می‌دهد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$q_{absorb} = [q(\text{ضریب جذب آب}) \cdot q(\text{زمان جذب آب})]^{1/2}$$

علـت ایـن است که وابستگی دو طرفه بین این دو مشخصه وجود دارد. چرا که اگر سرعت جذب خوب نباشد ضریب جذب بـدرد نمـی‌خـورد و اگـر سرعت جذب خوب باشد ولی ظرفیت جذب خوب نباشد باز هم بدرد نمی‌خورد. با این حساب میانگین هندسی می‌تواند توصیف کننده کیفیت جذب باشد.

$Q_{texture}$ اثـر جـنس را از نظر بافت یا ساختمان مواد نشان می‌دهد. مثلاً وقتی مواد مصرفی در توده جاذب دارای لوله‌های مویـیـن باشـد ایـن خاصیت سرعت جذب را خیلی بالا می‌برد و یا اگر ماده جاذب اضافه شده باشد خیلی روی کیفیت جذب اثر مـی‌گـذارد. بطـور کلی $Q_{texture}$ اثر الیاف مواد جاذب و نوع ساختمانی آن را نمایندگی می‌کند. البته لازم به تذکر است که اگر جنس تنها روی قدرت جذب آب یا سرعت جذب آب اثر داشته باشد می‌توانیم این مشخصه را حذف کنیم چرا که تجلی جنس روی مشخصـه ضـریب جـذب آب و سـرعت جـذب آب خود را نشان خواهد داد. در حال حاضر مجموع مذاکرات با کارشناسان منجربه در نظر گرفتن مشخصه جنس به صورت مستقل گردید.

$q_{nonwoven}$ کیفیـت ناشـی از پوشـش خارجـی را نشـان مـی‌دهـد. q_{weigh} وزن پوشک را نمایندگی می‌کند و مجدداً هرچه پوشـک سـبک‌تـر باشـد مطلـوب‌تـر است.در مورد کیفیت ناشی از وزن پوشک لازم به تذکر است که اصولاً وزن پوشک، عاملی نـامطلوب تلقـی مـی‌گـردد و هرچه کمتر باشد بهتر است. وزن نشانه مهمی از فناوری بکار رفته در پوشک است. با این حال در حـال حاضـر مشخصـه وزن پوشـک در استاندارد موجود مشخصه ای حداقلی است یعنی برای سایز کوچک پوشک باید حداقل وزن پوشـک ۲۰ گـرم باشد و این به خاطر این است که اطمینان حاصل شود مواد مصرفی بخصوص توده جاذب به اندازه کافی در محصـول وجـود دارد. در واقـع نوعـی کنـترل برای جلوگیری از کم فروشی است. با این حساب برای اینکه بتوانیم ضریب یا قدرت جذب را در حدود مورد نظر استاندارد داشته باشیم لازمست مشخصه وزن را مورد توجه قرار دهیم و از آن طریق کنترل کنـیم. اگر چه وقتی بتوانیم ضریب جذب را بصورت جدی مورد توجه و کنترل قرار دهیم آنگاه وزن می‌تواند به وضعیت طبیعی خود نزدیک شود و معیار هرچه وزن کمتر بهتر، نشانه کیفیت شود.

$$q_{volume} = 0.75\,q(\text{حجم توده جاذب}) + 0.25q\ (\text{حجم پوشش میانی})$$

q_{volume} کیفیـت ناشـی از حجم پوشک را نمایندگی می‌کند که البته هرچه حجم کمتر باشد مطلوب‌تر است. در آن (حجم تـوده جـاذب) q نشاندهنده کیفیت ناشی از حجم توده جاذب است و (حجم پوشش میانی) q نشاندهنده کیفیت ناشی از حجم پوشش میانی است. در واقع:

$$q(\text{حجم توده جاذب}) = f$$

[(ضخامت توده جاذب)"q. (عرض توده جاذب) "q. (طول توده جاذب)" q]

و ایـن یعنی کیفیت ناشی از حجم توده جاذب تابعی است از طول و عرض و ضخامت توده جاذب که سه مشخصه‌ای است که در استاندارد موجود مورد آزمایش و اندازه‌گیری قرار می‌گیرد. به همین ترتیب داریم:

$$q(\text{حجم پوشش میانی}) = f\,[q"(\text{طول پوشش میانی}).q"(\text{عرض پوشش میانی}).$$

[(عدد ثابتی معرف ضخامت پوشش میانی)

در این توابع" q مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایش را نشان می‌دهد.

$$q_{volume} = 0.75f\,[\,q"(\text{طول توده}).q"(\text{عرض توده}).q"(\text{ضخامت})] + 0.25f\,[\,q"(\text{طول}).q"(\text{عرض}).(\text{عدد ثابت})]$$

در میان مشخصه‌های مورد ملاحظه تنها کیفیت ناشی از جنس ($q_{material}$) مشخصه‌ای مرکب می‌باشد. سایر مشخصه‌ها بسیط هستند و مقادیرشان در حال حاضر اندازه‌گیری می‌شوند. هم چنین داریم:

$$Q_A=0.33qsign+0.33qpack+0.33qdefect$$

که در آن: qsign کیفیت مشخصه علامت گذاری را نشان می‌دهد و qpack کیفیت مشخصه بسته بندی را نشان می‌دهد و qdefect کیفیت مشخصه عیوب ظاهری را نشان می‌دهد.

٤-١ـ شبیه سازی عددی روش پیشنهادی و بررسی نتایج

اینک برای مثال فرض کنیم کیفیت بهداشتی-محیط زیستی کاملا عالی است یعنی $Q_{HE}=1.0$ ولی مشخصات ظاهری پوشک خیلی خراب است یعنی $Q_A = 0.0$ در این صورت خواهیم داشت:

$$Q = \sqrt{Q_{HE}.Q_P} = \sqrt{Q_P} = \sqrt{\frac{3}{4}Q_T}$$

حالا اگر مشخصات فنی کاملاً در وضعیت عالی خود قرار داشته باشند یعنی $Q_T = 1.0$ آنگاه کیفیت چنین پوشکی عبارت خواهد بود از:

$$Q = \sqrt{\frac{3}{4}} = 0.87$$

که البته کیفیت خیلی خوبی را نشان می‌دهد و معنایش این است که حتی اگر تمام عوامل سازنده مشخصات ظاهری در وضعیت مطلوبی بسر نبرند، تأثیری برابر با 0.13 = 0.87-1 یا ۱۳ درصد کاهش روی کیفیت نهایی ما خواهد گذاشت.

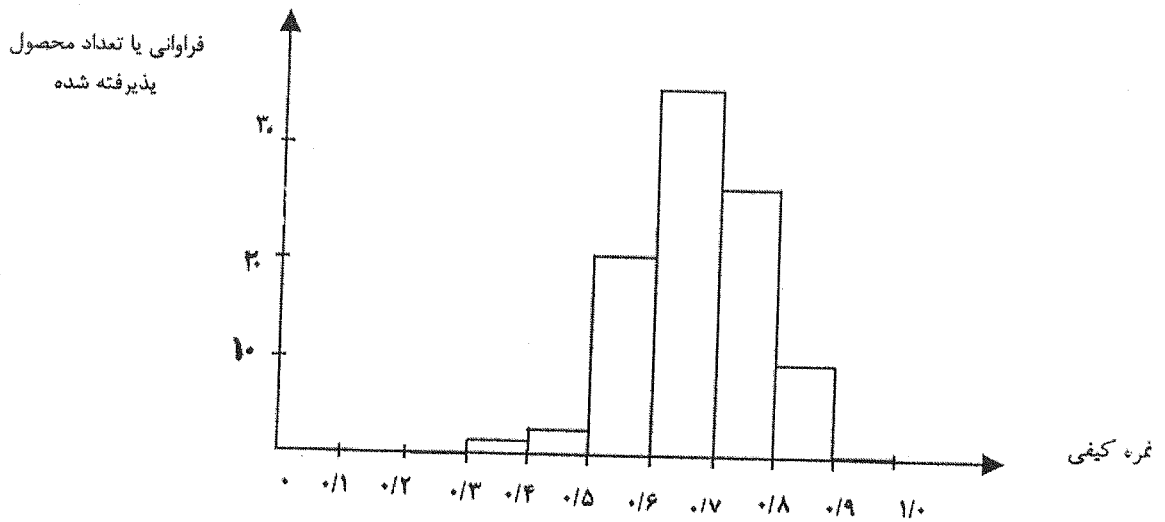
اینک اگر روش جدید را روی داده‌های تجربی مربوط به پوشک بچه بصورت شبیه‌سازی بررسی کنیم مشاهده می‌نماییم که نتایج حاصله نتایجی منطقی و قابل قبول می‌باشد چنانچه در جدول ۸ و شکل ۱۷ مشاهده می‌گردد. رفتار عمومی کیفیت پوشک به رفتار طبیعی یا نرمال خود نزدیک شده است و این در حالی است که در روش موجود (مطابق با جدول۴ و شکل۱) رفتار کیفی غیرقابل قبول می‌باشد[۹].

جدول (۸) نتایج شبیه‌سازی روش جدید.

نمره کیفیت محصول	تعداد محصولات حائز نمره کیفیت	درصد	درصد تجمعی
۱	۰	۰	۰
۰/۹-۰/۹۹	۰	۰	۰
۰/۸-۰/۸۹	۱۱	۱۱/۵	۱۱/۵
۰/۷-۰/۷۹	۲۸	۲۹/۲	۴۰/۷
۰/۶-۰/۶۹	۳۴	۳۵/۴	۷۶/۱
۰/۵-۰/۵۹	۲۰	۲۰/۸	۹۶/۹
۰/۴-۰/۴۹	۲	۲/۱	۹۹/۰
۰/۳-۰/۳۹	۱	۱/۰	۱۰۰/۰
مجموع نمونه‌ها	٪۱۰۰		

توجه به این نکته ضروری است که انتظار ما برای نرمال بودن تابع توزیع کیفیت به دو دلیل عمده است: دلیل اول به مطالعات گاوس باز می‌گردد. گاوس نشان داد که تابع توزیع خطا، توزیعی نرمال است و این خیلی به نوع محصول یا قطعه مورد مطالعه برنمی‌گردد. از آنجا که محصولات از تولیدکنندگان متنوع به مؤسسه استاندارد ارایه می‌گردد و فرض بنیادی همه

تولیدکنندگان، تولید برای حفظ استاندارد از پیش تعریف شده محصول است بنابراین انحراف از استاندارد تعریف شده، به نوعی معادل انحراف یا خطای اندازه‌گیری است که گاوس مورد مطالعه قرار داده است. با این حساب انتظار نرمال بودن انتظار اولیه و طبیعی ما است مگر اینکه دلایلی برخلاف آن در دسترس باشد. دلیل دوم ما بر اینکه تابع نرمال کیفیت را مفروض گرفته‌ایم توجه به این واقعیت است که تعداد عوامل یا مشخصه های کیفی زیاد و متعدد هستند. حتی اگر فرض کنیم تابع توزیع هر کدام از مشخصه‌ها با یکدیگر متفاوتند در اینصورت مطابق با قضیه حد مرکزی (central limit theorem) تابع کیفیت مجموع از توزیع نرمال تبعیت می‌کند چنانچه در شکل ۱۷ مشاهده می‌گردد.



شکل (۱۷) فراوانی نمره کیفی محصولات آزمایش شده به روش جدید.

۵ـ خلاصه و نتیجه‌گیری

هنگامی که می‌خواهیم کیفیت یک محصول را برآورد کنیم ناچاریم آن را به عناصر اصلی آن خرد کنیم. سپس برای هر کدام از عناصر اصلی، اجزای فرعی مربوطه را شناسایی کنیم. بدین ترتیب یک ساختار سلسله مراتبی تشکیل می‌گردد تا به کمک آن ارزیابی کیفیت امکان‌پذیر گردد. در تعیین این ساختار سلسله مراتبی، حجم زیادی از کارشناسی فنی مورد نیاز است تا سطح‌بندی‌های مناسب تشخیص داده شوند. اگر قرار باشد عوامل را اصلی و فرعی نکنیم و سطح هر کدام را متناسب اختیار ننماییم، امکان ارزیابی به سادگی از بین خواهد رفت. این فرآیند، فرموله کردن پدیده‌های پیچیده مانند کیفیت محصول را در فضای تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) نشان می‌دهد که در بخش اول این مقاله از نگاه متدولوژیکی بررسی گردید. با این حال علیرغم منطقی بودن روش‌های سلسله مراتبی، اغلب اوقات از روش‌های ساده‌تر که فاقد ساختار منطقی هستند استفاده می‌شود که ما در این مقاله آنها را در بخش اول تحت عنوان روش‌های کارنامه‌ای مطالعه کردیم. ما از مثال پوشک بچه به طور گسترده استفاده کردیم تا فرآیند مدل سازی کیفیت را به صورت قدم به قدم نشان دهیم. با این حال، نتایج حاصله کاملاً قابلیت انطباق روی دیگر محصولات نساجی را دارد (مثال‌های دیگر کاربرد این روش را در گزارش مفصل طرح تحقیقاتی [۱۰] مشاهده نمایید).

در بخش دوم این مقاله نشان داده شد که وقتی کیفیت یک مشخصه به صورت تابع کیفیت فازی- تاگوچی تعریف شود دقت اندازه‌گیری کیفیت را درمقایسه با دیگر روش ها افزایش می دهد. پیوستگی تابع کیفیت جدید در مقایسه با تابع صفرویک قدیم موجب ثبات (robustness) روش در برخورد با خطاها و اشتباهات می‌گردد. در این صورت اشتباه در مشاهده یا اندازه‌گیری یک مشخصه در آزمایشگاه نمی‌تواند نتیجه نهایی را آن چنان تحت تأثیر خود قرار دهد که غیرمنطقی گردد. این در حالی است که در روش مرسوم و موجود در مؤسسه استاندارد، وقتی یکی از مشخصه‌های کیفی به غلط مغایر استاندارد شناسایی شوند، موجب مغایر استاندارد شدن کل محصول می‌گردد، در حالیکه در روش جدید هر مشخصه کیفی سهمی مطابق با شأن خود، یعنی بسته به مرتبه‌ای که از نظر سلسله مراتب اهمیت قرار دارد، خواهد داشت. تابع فازی ـ تاگوچی که در این

تحقیق توسعه داده شده است، شکل تعدیل یافته تابع احتمالی تاگوچی است، زیرا تابع احتمالی، وضعیت موجود را نشان می‌دهد در حالیکه ما در تابع کیفیت وضعیت مطلوب را مورد نظر داریم. با این حال ما از اطلاعات جمع آوری شده در مرحله تحلیل آماری و تهیه تابع احتمالی در طراحی تابع کیفیت استفاده کرده‌ایم، به خصوص از پارامتر انحراف معیار (σ) که مستقیماً در فرمول تابع کیفیت استفاده شده است. با این حال اگر مؤسسه استاندارد نخواهد از پارامتر انحراف استاندارد که نوعی معیار برای کیفیت است استفاده کند می‌تواند با تشخیص کارشناسان عدد مناسب‌تری را جایگزین نماید.

ما در بخش دوم این مقاله همچنین نشان دادیم که خاصیت جمع‌پذیری(additivity) به تنهایی نمی‌تواند در روی هم‌ریزی آثار کیفی مشخصه‌ها کافی باشد. به همین دلیل روش فرآیند سلسله مراتبی تحلیل (AHP) در تعیین اندازه و سهم کیفیت برخی از مشخصه‌ها قابل استفاده است. در بخش سوم، ساختار سلسله مراتبی مورد نیاز را فرموله کردیم و در بخش چهارم فرمول نهایی تعیین کیفیت محصول را مطرح و ارزیابی نمودیم.

قدردانی

در انجام این تحقیق لازم می‌دانیم از حمایت‌های مادی و معنوی موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران صمیمانه سپاسگزاری نماییم. هم چنین از داوران محترم بخاطر طرح نقطه نظراتشان، که موجب بهبود و طرح روشن‌تر متدلوژی ارایه شده گردید، بسیار سپاسگزاریم.

زیرنویس‌ها

۱ـ البته منظور از ساده‌تر بودن، چگونگی محاسبه نمره کیفی نیست بلکه روش تعیین ضرایب است. اینکه چرا باید مشخصه‌های بحرانی در مقابل مشخص های عمده ۷،۵ در برابر ۴ باشد یعنی اینکه تقریبا از نسبت ۲ به ۱ برخوردار باشد، در حالیکه نسبت مشخصه‌های عمده به جزیی تقریبا ۱،۳ به ۱ است(۴ در مقابل ۳) باعث پیچیدگی منطق روش انجمن گردیده است. از طرف دیگر در روش سوم، مشخصه های بحرانی ۳ برابر و مشخصه‌های عمده ۲ برابر مهم تر از مشخصه های جزیی هستند. با این حساب، حداقل از نظر نسبت اهمیت بین مشخصه ها ساده تر و قابل توجیه تر است (درست مشابه دروس ۳ ،۲و ۱ واحدی دانشگاه‌ها).

مراجع

[۱] فصل ششم گزارش در مورد فهرست کالاها و مشخصات کیفی محصولات مورد ارزیابی در مدیریت چرم و نساجی ، صفحه ۱۵۴-۱۸۴،موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران،۱۳۷۸.

[۲] محمدعلی صنیعی منفرد، فاطمه داداشیان، گزارش مرحله اول طرح پژوهشی بازنگری روش شناسانه در نحوه رد و قبول و محصولات با توجه به آزمونهای کنترل کیفی و ارائه روش جدید برای اندازه‌گیری و تعیین کیفیت محصولات، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مدیریت طرح‌های مطالعاتی و تحقیقاتی، ۱۳۷۹.

[3] H.Dyckhoff, K. Allen, Measuring ecological efficiency with data envelopment analysis, European Journal of Operational Research, No. 132, year 2001, pp 312-325.

[4] Genichi Teguchi, Taguchi Methods: Design of Experiments, ASI, 1999.

[5] http: als pubs. |b|. go/ Abstact Manager/Up loads/ Mitchell. Pdf.

[۶] دکتر محمدجواد اصغرپور، تصمیم‌گیری چندمعیاره، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۸.

[۷] دکتر حسن قدسی‌پور، تحلیل سلسله مراتبی با AHP،انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ دوم، ۱۳۷۹.

[۸] محمدعلی صنیعی منفرد، مباحثی در تحقیق در عملیات پیشرفته با نگرش کاربردی، انتشارات دانشگاه الزهرا، چاپ اول، ۱۳۸۰.

[۹] محمدعلی صنیعی منفرد، فاطمه داداشیان، گزارش مرحله دوم طرح پژوهشی بازنگری روش شناسانه .....، مؤسسه استاندارد تحقیقات صنعتی ایران، مدیریت طرحهای مطالعاتی و تحقیقاتی، ۱۳۸۰.

[۱۰] محمدعلی صنیعی منفرد، فاطمه داداشیان، گزارش مرحله سوم طرح پژوهشی بازنگری روش‌شناسانه .....، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مدیریت طرح‌های مطالعاتی و تحقیقاتی، ۱۳۸۰ .

[11] M.A.S.Monfared, S.J. Steiner, Fuzzy adaptive scheduling and control systems, Fuzzy Sets and Systems, Int. Journal, No.115, pp231-246, 2000.

[۱۲] محمدعلی صنیعی منفرد، فاطمه داداشیان، بررسی استراتژی‌های مختلف موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و آثار آن بر عرصه کیفیت محصولات، مجموعه مقالات ششمین کنگره سراسری همکاری‌های دولت،دانشگاه و صنعت برای توسعه ملی، ۲۶ الی ۲۷ آذر ماه ۱۳۸۱، تهران.

[۱۳] فاطمه داداشیان، محمدعلی صنیعی منفرد، روش‌های عددی اندازه‌گیری کیفیت محصولات نساجی، پنجمین کنفرانس ملی نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۳.