

مقایسه مدل‌های مختلف برای طراحی طرح نمونه‌گیری پذیرش با ویژگی‌های وصفی-متغیر

مهسا عبدالوند^۱ ID، علی سلماسنیا^{۲*} ID، سمراد جعفریان نمینی^۳ ID

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران

۲. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران

۳. استادیار گروه علوم مهندسی، دانشکده فن‌آوری‌های نوین، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

خلاصه

این مطالعه به طراحی یک طرح نمونه‌گیری پذیرش ترکیبی وصفی-متغیر (AVASP) بر مبنای شاخص قابلیت فرآیند می‌پردازد. طراحی اولیه با هدف حداقل‌سازی تابع هزینه (Cost) و رعایت معیارهای آماری انجام می‌شود. سپس، برای کاهش ریسک‌ها، از روش حداقل‌زاویه (MAM) برای توسعه مدل دوهدفه Cost-MAM استفاده می‌شود. به علاوه، دو مدل مشابه بدون در نظر گرفتن شاخص اقتصادی توسعه داده می‌شوند. در مدل اول از متوسط اندازه نمونه (ASN) به عنوان تابع هدف استفاده شده است در حالی که دومی مدلی دوهدفه با تابع هدف ASN-MAM در نظر گرفته شده است. برای ارائه نتایج مناسب در مدت زمان معقول، از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) برای حل مدل‌های مذکور استفاده می‌شود. با انجام مطالعات شبیه‌سازی به مقایسه چهار مدل ارائه پرداخته می‌شود. پس از انتخاب مدل ارجح، نحوه اجرای سیاست بهینه طرح نمونه‌گیری در یک مطالعه موردی نشان داده می‌شود. در نهایت، یک تحلیل حساسیت برای شناسایی پارامترهای تأثیرگذار بر نتایج ارائه می‌شود.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۹

بازنگری: ۱۴۰۴/۰۱/۱۶

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۴

(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:

طرح نمونه‌گیری پذیرش

مشخصه‌های وصفی-متغیر

تابع هزینه

روش حداقل‌زاویه

طراحی اقتصادی-آماري

۱. مقدمه

در دنیای رقابتی امروز، تولیدکنندگان برای ارائه اقلام مورد تأیید مصرف‌کننده باید سیاست‌های مناسبی اتخاذ کنند تا بتوانند هزینه‌های تحمیل‌شده به سیستم از جمله نمونه‌گیری، بازرسی، برطرف نمودن اقلام نامنطبق و تعمیر خرابی‌ها را به حداقل برسانند. برای اطمینان از سطح کیفیت محصولات از ابزارهای کنترل کیفیت آماری^۲ (SQC) استفاده می‌شود. در SQC از طرح نمونه‌گیری پذیرش^۳ (ASP) برای کسب اطلاعات از یک انباشته دریافتی و تصمیم‌گیری در مورد پذیرش یا رد

آن استفاده می‌شود. این طرح‌ها به دو دسته کلی نمونه‌گیری وصفی^۴ (AASP) و نمونه‌گیری متغیر^۵ (VASP) تقسیم می‌شوند. منحنی مشخصه عملکرد^۶ (OC) در طرح VASP با حجم نمونه کوچکتر نسبت به طرح AASP به دست می‌آید. قابل توجه است که بازرسی با حجم نمونه کمتر منجر به کاهش هزینه و زمان بازرسی می‌شود.

با گنجاندن محدودیت‌هایی برای تضمین رضایت تولیدکننده و مصرف‌کننده، مدل‌های طراحی اقتصادی-آماري^۷ (ESD) با تابع هدف متوسط اندازه نمونه^۸ (ASN) برای تعیین متغیرهای تصمیم طرح‌های

* نویسنده مسئول: مهسا عبدالوند

تلفن: ۰۳۶-۲۲۰۷۱۰۳۶؛ پست الکترونیکی: a.salmasnia@qom.ac.ir

2. Statistical Quality Control
3. Acceptance Sampling Plan
4. Attribute ASP
5. Variable ASP
6. Operating Characteristic
7. Economic-Statistical Design
8. Average Sample Number

مدل دوهدفه استفاده می‌شود. در ادامه، به‌منظور تأکید بر اهمیت ویژگی‌های دو مدل توسعه داده شده، دو مدل مشابه بدون در نظر گرفتن شاخص اقتصادی توسعه داده می‌شوند. مدل مقایسه‌ای اول از تابع هدف ASN بهره می‌برد در حالی که در مدل مقایسه‌ای دوم از تابع هدف MAM-ASN استفاده می‌شود. ادامه مقاله بدین شرح است که در بخش دوم مسأله تعریف می‌شود. بخش سوم به مدل‌سازی ریاضی می‌پردازد. رویکرد حل در بخش چهارم ارائه شده است. در بخش پنجم به اجرای مدل و تحلیل نتایج پرداخته می‌شود. بخش آخر به نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

۲. بیان مسأله

فرض کنید انباشته‌ای که شامل N قلم کالا است دریافت شده است. قرار است نمونه‌های تصادفی از این انباشته برای بازرسی طبق AVASP انتخاب، و درمورد پذیرش، رد، یا ادامه بازرسی تصمیم‌گیری شود. برای اجرای این طرح لازم است مقادیر بهینه پنج متغیر مجهول آن، شامل اندازه نمونه مرحله وصفی n_1 ، اندازه نمونه مرحله متغیر n_2 ، عدد پذیرش در مرحله وصفی c ، عدد پذیرش در مرحله متغیر k ، و تعداد مرحله نمونه‌گیری مجدد m ، تعیین شوند. پژوهش حاضر به ارزیابی مدل‌های مختلفی برای طراحی یک طرح AVASP و تعیین مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم آن می‌پردازد. در ارزیابی‌ها معمولاً از معیارهای ASN، توان در منحنی OC و ... استفاده می‌شود. به‌طور معمول، ASN کمتر و توان بالاتر نشان‌دهنده یک طرح مؤثرتر است، اگرچه این معیارها ارتباط معکوس دارند. با در نظر گرفتن این موارد در کنار سایر پارامترهای ضروری، می‌توان هزینه اجرای طرح را نیز تخمین زد و اولویت را به طرح با کمترین هزینه نسبت داد. این مدل مبتنی بر هزینه ممکن است طرح‌هایی با ASN بزرگتر با منحنی OC بسته‌تر یا ASN کوچکتر و منحنی OC گسترده‌تر ارائه دهد. به‌کارگیری مفهوم MAM در مدل‌سازی مبتنی بر هزینه می‌تواند به بهبود نتایج کمک کند. هدف روش MAM این است که منحنی OC را با به حداقل رساندن ریسک‌های تولیدکننده و مصرف‌کننده به حالت ایده‌آل نزدیک کند. با این حال، کاهش این ریسک‌ها به‌طور کلی نیاز به افزایش حجم نمونه دارد که به‌نوبه خود می‌تواند هزینه‌ها را افزایش دهد.

با توجه به عدم وجود مطالعه مقایسه‌ای در زمینه طراحی AVASP لازم است ارزیابی جامعی از مدل‌های مختلف انجام شود. در این راستا، پژوهش حاضر به ارزیابی چهار مدل متمایز می‌پردازد. در مدل اول، به بهینه‌سازی تابع هدف شامل هزینه‌ها پرداخته می‌شود. اما، در مدل دوم، ترکیبی از توابع هدف هزینه‌ها و روش MAM برای بهینه‌سازی ارائه می‌شود. علاوه بر دو مدل اصلی، در مدل سوم به بهینه‌سازی مقدار ASN، و در مدل چهارم به بهینه‌سازی ترکیبی از توابع ASN و روش MAM پرداخته می‌شود. در مدل‌های سوم و چهارم می‌توان با جای‌گذاری متغیرهای تصمیم در تابع هدف هزینه به برآوردی از هزینه اجرای آن‌ها

ASP برحسب شاخص قابلیت فرآیند توسعه یافته است [۳-۱]. با این حال، مدل‌سازی با تابع هدف ASN ممکن است همیشه کمترین هزینه را به‌همراه نداشته باشند. بنابراین، مدل‌هایی با تابع هدف هزینه و نیز گنجانیدن هرگونه انحراف مشخصه کیفی از مقدار هدف به‌عنوان زبان ارائه شدند [۷-۴]. جذابیت طرح‌های اقتصادی-آماري مبتنی بر زبان زمانی افزایش می‌یابد که از طریق روش حداقل زاویه^۱ (MAM) به منحنی OC ایده‌آل نزدیک شود. این نوع طراحی برای فرآیندها با مشخصه‌های کیفی نرمال در مراجع [۸] و [۹] مورد استفاده قرار گرفته است، فرآیندها با مشخصات کیفی نامی و وایبول به‌ترتیب در مراجع [۱۰] و [۱۱] مورد توجه قرار گرفته‌اند.

علاوه بر طرح‌های AASP و VASP، طرح‌های نمونه‌گیری ترکیبی وصفی-متغیر^۲ (AVASP) در سال‌های اخیر توجه محققان را جلب کرده است که مزایای هر دو نوع بازرسی وصفی و متغیر را دربردارند. در این طرح‌ها، ابتدا بازرسی وصفی انجام می‌شود، و تحت شرایطی، بازرسی به مرحله دوم انتقال می‌یابد تا ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری به‌وسیله VASP بررسی، و درمورد انباشته تصمیم‌گیری شود. در مرجع [۱۲] طرح‌های AVASP به‌صورت یک‌بار و جفت نمونه‌گیری تحت توزیع نامی پیشنهاد شد. طراحی آن متکی بر حداقل‌سازی تابع هدف ASN بود. مرجع [۱۳] یک طرح AVASP برای مشخصه‌های کیفی نرمال ارائه داده است که در آن اندازه نمونه با ایجاد توازن میان ریسک‌های تولیدکننده و مصرف‌کننده تعیین می‌شود. در مرجع [۱۴] یک طرح AVASP در شرایط اندازه انباشته متغیر بر مبنای شاخص قابلیت فرآیند Cpk و متوسط اندازه نمونه ASN توسعه داده شده است. در حوزه پروفایل‌های خطی، به طراحی چندین AVASP براساس شاخص بازده فرآیند Spk با بهینه‌سازی تابع ASN پرداخته شد [۱۵]. یک AVASP زنجیره‌ای برحسب شاخص Cpk در مرجع [۱۶] ارائه شده است. در این زمینه، به ارائه طرح مشابهی با اندازه نمونه متغیر در [۱۷]، و ارائه طرح دیگری با اجرای نمونه‌گیری زنجیره‌ای برای بازرسی وصفی در [۱۸] پرداخته شده است. طرح‌های AVASP براساس Cpk با نمونه‌گیری گروهی تکراری در [۱۹] و با جفت نمونه‌گیری در [۲۰] ارائه شده‌اند. اخیراً، مرجع [۲۱] یک طرح AVASP با تابع هدف ASN برای انباشته‌های بازرسالی براساس شاخص قابلیت فرآیند ارائه نموده است که در آن فرض می‌شود مشخصه کیفی از توزیع نرمال پیروی می‌کند. به‌دلیل عملکرد مناسب رویکرد مذکور نسبت به سایر طرح‌های AASP، VASP و AVASP، در این مطالعه نیز از این طرح ترکیبی استفاده می‌شود.

طبق بررسی ادبیات موضوع، تاکنون به طراحی AVASP براساس تابع هزینه و روش MAM پرداخته نشده است. بر این اساس، در این مطالعه، ابتدا یک طرح AVASP با هدف حداقل‌سازی تابع هزینه ضمن رعایت معیارهای آماری ارائه می‌شود. سپس، با هدف مضاعف کاهش ریسک‌های تولیدکننده و مصرف‌کننده، از روش MAM برای توسعه یک

1. Minimum Angle Method

2. Attri-Var ASP

دست یافت. برخی از مفروضات برای تسهیل مدل‌سازی ریاضی عبارتند از:	σ و μ	میانگین و انحراف معیار مشخصه کیفی
	N	اندازه انباشته
۱) مشخصه کیفی از توزیع نرمال با انحراف استاندارد معلوم پیروی می‌کند،	AQL و LQL	سطوح کیفی قابل قبول و محدودکننده
۲) احتمال پذیرش نمونه در مرحله وصفی از تابع توزیع دوجمله‌ای پیروی می‌کند،	P	نسبت اقلام نامنتطبق انباشته
۳) اقلام تولیدشده سریالی برای بازرسی انتخاب می‌شوند،	Pa(p) و Pr(p)	احتمال پذیرش و رد در سطح کیفی p
۴) نسبت اقلام معیوب انباشته‌های دریافتی ثابت است،	PA	احتمال پذیرش در مرحله وصفی
۵) هیچ انباشته‌ای نسبت به انباشته قبلی کیفیت پایین‌تری ندارد،	PV	احتمال پذیرش در مرحله متغیر
۶) حدود مشخصه پایین ^۱ (LSL) و بالا ^۲ (USL) فعال هستند،	ASN	متوسط اندازه نمونه
۷) اقلام نامنتطبق تحت بازرسی اصلاحی قرار می‌گیرند. علائم به‌کار رفته به تفکیک در ادامه فهرست شده‌اند.	ASNA	متوسط تعداد نمونه در مرحله وصفی
	ASNv	متوسط تعداد نمونه در مرحله متغیر

۲-۱. متغیرهای تصمیم

n1	اندازه نمونه در بازرسی وصفی
n2	اندازه نمونه در بازرسی متغیر
c	عدد پذیرش در نمونه‌گیری وصفی
k	معیار پذیرش در نمونه‌گیری متغیر
m	تعداد تکرار در نمونه‌گیری مجدد

۲-۲. پارامترهای هزینه

EL	کل هزینه مورد انتظار (زیان)
L1	هزینه مورد انتظار اقلام بازرسی شده
L2	هزینه مورد انتظار اقلام باقی‌مانده در صورت پذیرش انباشته
L3	هزینه مورد انتظار اقلام باقی‌مانده در صورت رد انباشته
Cins	هزینه بازرسی قلم
Cpr و Ccs	توابع زیان تولیدکننده و مصرف‌کننده
K	ضریب تابع زیان
A	متوسط زیان کیفی
B	هزینه تولیدکننده برای تعمیر یا تعویض قلم

۲-۳. پارامترهای فرآیند

α و β	ریسک‌های تولیدکننده و مصرف‌کننده
M	وسط حدود مشخصه
d	تعداد اقلام نامنتطبق
x	مقدار مشخصه کیفی
G(.)	تابع تجمعی توزیع کای‌دو
$\phi(.)$	تابع تجمعی توزیع نرمال استاندارد
f(x)	تابع چگالی احتمال
δU و δL	حداکثر و حداقل مقدار مشخصه کیفی
Δ	تلورانس مصرف‌کننده
T	مقدار هدف

۳. مدل‌سازی ریاضی

برای توصیف مدل، طرح نمونه‌گیری ترکیبی وصفی-متغیر در زیربخش اول معرفی می‌شود. سپس، به معرفی تابع زیان تاگوچی و روش MAM پرداخته می‌شود. در بخش چهارم ساختار تابع هزینه ارائه می‌شود. در نهایت، مدل پیشنهادی ارائه می‌شود.

۳-۱. طرح نمونه‌گیری ترکیبی وصفی-متغیر

طرح نمونه‌گیری AVASP در دو مرحله اجرا می‌شود. در مرحله اول، به بازرسی ویژگی‌های وصفی با استفاده از AASP پرداخته می‌شود. اگر مرحله اول بازرسی منجر به پذیرش نشود، در مرحله دوم به بازرسی ویژگی‌های قابل اندازه‌گیری به روش VASP پرداخته می‌شود. با توجه به نتایج مرحله دوم بازرسی، در مورد انباشته تصمیم‌گیری می‌شود. متغیرهای تصمیم مربوط به طرح نمونه‌گیری ترکیبی براساس شاخص Cpk شامل n1, n2, c, k, m است. گام‌های اجرای طرح AVASP طبق شکل ۱ عبارتند از:

گام اول (شروع بازرسی وصفی): یک نمونه تصادفی با اندازه n1 از انباشته انتخاب، و تعداد اقلام غیرمنتطبق (d) آن شمارش می‌شود. گام دوم: با تعریف c به عنوان عدد پذیرش، در این گام دو حالت پیش می‌آید:

حالت ۱: پذیرش انباشته اگر شرط $d < c$ برقرار باشد،
حالت ۲: تکرار نمونه‌گیری m بار دیگر برای قضاوت مجدد در گام بعدی.
گام سوم: تکرار نمونه‌گیری برای m بار دیگر و قضاوت مجدد، که شامل دو حالت زیر است:
حالت ۱: پذیرش انباشته، اگر در حداقل (m-1) بار تکرار نمونه‌گیری شرط $d < c$ برقرار باشد.
حالت ۲: در صورت عدم پذیرش در بازرسی وصفی، بازرسی متغیر مطابق مرحله ۲ در گام بعدی اعمال می‌شود.
گام چهارم (شروع بازرسی متغیر): یک نمونه تصادفی به اندازه n2 از انباشته انتخاب، و شاخص قابلیت فرآیند نمونه محاسبه می‌شود:

جایی که طبق تابع توزیع دوجمله‌ای داریم:

$$P_a(n_1, c) = \sum_{d=0}^c \binom{n_1}{d} p^d (1-p)^{n_1-d} \quad (5)$$

پس از تعریف میانگین و واریانس نمونه به ترتیب طبق روابط زیر:

$$\bar{x} = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} x_i \quad (6)$$

$$s^2 = \frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^{n_2} (x_i - \bar{x})^2 \quad (7)$$

می‌توان نوشت:

$$P(C_{pk} \geq k) = P(\bar{x} + 3ks \leq USL) - P(\bar{x} - 3ks \leq LSL) \quad (8)$$

رابطه فوق به صورت زیر برآورد می‌شود $[20]$:

$$P(\hat{C}_{pk} \geq k) = \int_{-\infty}^{Y_{Ua}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx - \int_{-\infty}^{Y_{La}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx \quad (9)$$

جایی که داریم:

$$Y_{Ua} = (USL - \mu - 3k\sigma) / \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n_2}} \sqrt{1 + \frac{9k^2}{2}} \right) \quad (10)$$

$$Y_{La} = (LSL - \mu + 3k\sigma) / \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n_2}} \sqrt{1 + \frac{9k^2}{2}} \right)$$

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{\mu - LSL}{3\sigma}, \frac{USL - \mu}{3\sigma} \right\}. \quad (1)$$

گام پنجم: پذیرش انباشته اگر $C_{pk} > k$ باشد. در غیر این صورت نمونه‌گیری با اندازه n_2 برای m بار تکرار می‌شود. اگر در حداقل $(m-1)$ بار تکرار نمونه‌گیری شرط $C_{pk} > k$ برقرار باشد، انباشته پذیرفته می‌شود. در غیر این صورت انباشته رد می‌شود. تصمیم‌گیری در این گام، شامل ۲ حالت است:

حالت ۱: پذیرش انباشته، برقراری شرط $C_{pk} > k$

حالت ۲: تکرار نمونه‌گیری برای m بار دیگر برای قضاوت مجدد طبق گام بعدی.

گام ششم: تکرار نمونه‌گیری برای m بار دیگر و قضاوت مجدد، که شامل ۲ حالت زیر است:

حالت ۱: پذیرش انباشته، اگر در حداقل $(m-1)$ بار تکرار نمونه‌گیری، $C_{pk} \geq k$ باشد.

حالت ۲: رد انباشته، اگر در حداقل $(m-1)$ بار تکرار نمونه‌گیری، $C_{pk} < k$ نباشد.

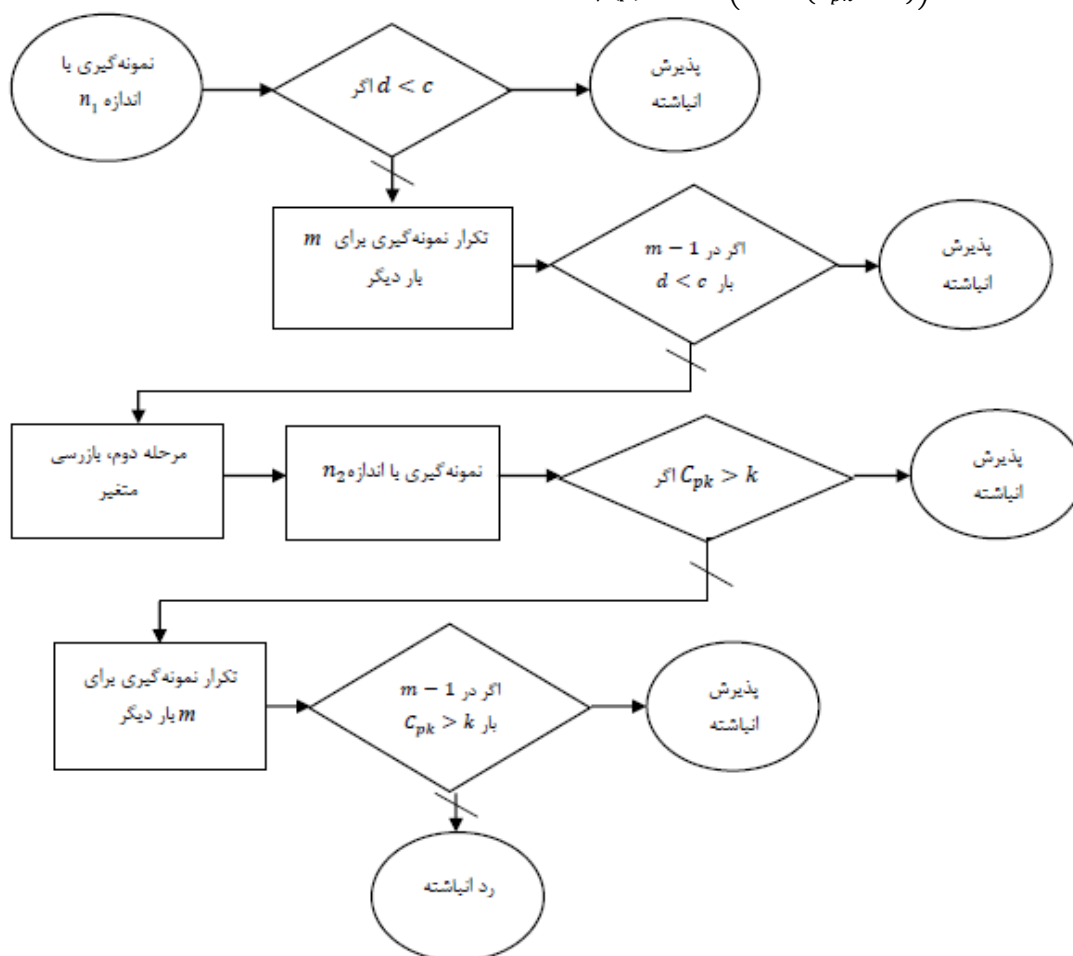
احتمال پذیرش انباشته در سطح کیفیت p برابر است با:

$$P_a(p) = P_A + (1 - P_A)P_V, \quad (2)$$

جایی که احتمال‌های پذیرش در بازرسی وصفی و بازرسی متغیر به ترتیب طبق روابط زیر به دست می‌آیند:

$$P_A = 1 - (1 - P_a(n_1, c))^m \quad (3)$$

$$P_V(p) = 1 - (1 - P(C_{pk} \geq k))^m \quad (4)$$



شکل (۱). گام‌های طرح نمونه‌گیری ترکیبی وصفی-متغیر

تابع زیان مورد انتظار، به‌عنوان تابع هدف^۱ (OBF) در مدل پیشنهادی، به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$E_L = L_1 + L_2 + L_3. \quad (۱۷)$$

جایی که داریم:

$$L_1 = ASN \left(C_{ins} + \int_{\delta_L}^{LSL} C_{pr}(x)f(x)dx + \int_{\delta_U}^{USL} C_{pr}(x)f(x)dx + \int_{LSL}^{USL} C_{cs}(x)f(x)dx \right), \quad (۱۸)$$

$$L_2 = (N - ASN) \left(\int_{\delta_L}^{\delta_U} C_{cs}(x)f(x)dx \right) P_a(p), \quad (۱۹)$$

$$L_3 = (N - ASN) \left(C_{ins} + \int_{\delta_L}^{LSL} C_{pr}(x)f(x)dx + \int_{\delta_U}^{USL} C_{pr}(x)f(x)dx + \int_{LSL}^{USL} C_{cs}(x)f(x)dx \right) P_r(p). \quad (۲۰)$$

L1 شامل سه بخش است:

(۱) هزینه بازرسی اقلام نمونه: این هزینه براساس مقدار ثابت Cins برای اقلام ASN محاسبه می‌شود.

(۲) هزینه ناشی از عدم انطباق اقلام بازرسی‌شده: اقلامی که مقدار مشخصه کیفی آن‌ها کمتر از LSL یا بیشتر از USL باشد به تولیدکننده بازگردانده شده و هزینه تعمیر یا تعویض آن‌ها با مقدار ثابت Cpr محاسبه می‌شود.

(۳) هزینه انحراف از مقدار هدف: اقلامی که مشخصه کیفی آن‌ها بین LSL و USL باشد به مصرف‌کننده ارسال می‌شوند و مشتری در معرض زیان‌های احتمالی ناشی از انحراف مشخصه کیفی از مقدار هدف قرار می‌گیرد. برآوردی از این هزینه مورد انتظار با استفاده از تابع زیان در رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود.

L2 هزینه موردانتظار مربوط به اقلام باقی‌مانده بدون بازرسی در انباشته را توصیف می‌کند مشروط به اینکه تصمیم به پذیرش انباشته با احتمال Pa(p) گرفته شده باشد. وقتی که یک انباشته پذیرفته می‌شود، تعداد (N-ASN) اقلام انباشته مورد بازرسی قرار نمی‌گیرد و به مشتری ارسال می‌شود. بنابراین هزینه بازرسی برای اقلام باقی‌مانده وجود نخواهد داشت. در این شرایط، تولیدکننده متحمل هیچ هزینه‌ای نمی‌شود. تنها مصرف‌کننده هزینه تمام اقلام باقی‌مانده، با مقادیر بین δ_L و δ_U ، در

مقدار تابع احتمال طبق رابطه فوق عددی منفی به‌دست می‌آید. بنابراین، در این پژوهش از رابطه ارائه شده در [۱] برای محاسبه احتمال استفاده می‌شود:

$$P(\hat{C}_{pk} \geq k) = \int_0^{b\sqrt{n_2}} G\left(\frac{(n_2-1)(b\sqrt{n_2}-x)^2}{9n_2k^2}\right) [\phi(x + \xi\sqrt{n_2}) + \phi(x - \xi\sqrt{n_2})] dx \quad (۱۱)$$

جایی که $M=(USL+LSL)/2$ ، $\xi=(\mu-M)/\sigma$ ، $b=3Cpk+|\xi|$ ، $d'=(USL-LSL)/2$ و $Cpk=(d'-|\mu-M|)/3\sigma$ است. معیار ASN موردنیاز برای تصمیم‌گیری با AVASP به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$ASN(p) = ASN_A + (1 - P_A)ASN_V \quad (۱۲)$$

جایی که مقادیر ASN به‌ترتیب در بازرسی‌های وصفی و متغیر از روابط زیر به‌دست می‌آیند:

$$ASN_A = \frac{n_1 P_A}{P_A(n_1, c)} \quad (۱۳)$$

$$ASN_V = \frac{n_2 P_V}{P(C_{pk} \geq k)} \quad (۱۴)$$

۳-۲. تابع زیان تاگوچی

برخلاف رویکرد سنتی که تنها اقلام خارج از حدود مشخصات را معیوب در نظر می‌گیرد، تابع زیان تاگوچی بر حداقل‌سازی هرگونه انحراف از مقدار هدف تأکید دارد. براساس این دیدگاه، حتی انحرافات جزئی از مقدار مطلوب می‌توانند منجر به کاهش کیفیت محصول و افزایش هزینه‌ها شوند. اگر هر دو USL و LSL فعال باشند، تابع زیان مصرف‌کننده برای یک مقدار معینی از مشخصه کیفی x طبق رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$L(x) = C_{cs}(x) = K(x - T)^2 \quad (۱۵)$$

جایی که ضریب تابع زیان از رابطه $K=A\Delta^2$ به‌دست می‌آید (A متوسط زیان کیفی و Δ تلورانس مصرف‌کننده است). توجه شود که هزینه‌های Cins و Cpr ثابت و مستقل از مقدار مشخصه کیفی هستند.

۳-۳. روش حداقل زاویه

هدف رویکرد MAM دستیابی به منحنی OC ایده‌آل است. در طرح نمونه‌گیری پذیرش با منحنی OC ایده‌آل، تمام انباشته‌های خوب با احتمال یک و تمام انباشته‌های بد با احتمال صفر پذیرفته می‌شوند دستیابی به چنین منحنی عملکردی تنها هنگام بازرسی ۱۰۰٪ در شرایط بازرسی بدون خطا امکان‌پذیر است. در ادبیات طراحی طرح نمونه‌گیری، استفاده از مفهوم کمترین زاویه بین خطوط واصل نقاط $[AQL, Pa(AQL)]$ و $[LQL, Pa(LQL)]$ پیشنهاد شد. زاویه θ در منحنی OC از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\tan(\theta) = \frac{LQL - AQL}{P_A(AQL) - P_A(LQL)}. \quad (۱۶)$$

برای رسیدن به منحنی OC ایده‌آل باید به کمینه‌سازی زاویه پرداخت.

۴-۳. ساختار تابع هزینه

شدید تابع هدف می‌شود. بدین ترتیب جستجوی راه‌حل بهینه در ناحیه شدنی انجام شود.

۴. روش حل

مدل پیشنهادی از نوع برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط^۱ دارای پیچیدگی‌هایی مانند غیرمحدب بودن، ناپیوستگی فضای حل و حضور همزمان متغیرهای تصمیم گسسته و پیوسته است. در تحقیقات پیشین برای دستیابی به راه‌حل‌ها معمولاً از الگوریتم جستجوی شبکه‌ای^۲ (GS) استفاده شده است. برای نخستین بار، در مرجع [۷] از الگوریتم فراابتکاری بهینه‌سازی ازدحام ذرات^۳ (PSO) به‌دلالی از جمله مکانیسم جستجوی منحصربه‌فرد، سادگی مفاهیم محاسباتی، کارایی و سهولت اجرا برای شناسایی مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم یک طرح VASP استفاده شد. نتایج ارائه شده در مطالعه مذکور نشان داد که الگوریتم PSO عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک و روش GS دارد. بنابراین، در این پژوهش نیز از الگوریتم PSO طبق شکل (۲) برای حل مدل‌های توسعه داده شده استفاده می‌شود.

ابتدا پارامترهای PSO شامل وزن اینرسی w ، عوامل یادگیری شخصی $c1$ و اجتماعی $c2$ ، اندازه جمعیت NP و تعداد تکرار NI تعریف می‌شوند. مجموعه‌ای تصادفی از ذرات تولید می‌شود که هر کدام یک راه‌حل بالقوه را نشان می‌دهند. در اولین تکرار ($r=1$)، ذره y ام به‌صورت $Prt_{yr} = [xy_{1r}, \dots, xy_{ir}, \dots]$ با $y=1, \dots, NP$ و سرعت آن با $Vy_r = [vy_{1r}, \dots, vy_{ir}, \dots]$ به‌ازای $y=1, \dots, NP$ و مقدار اولیه xy_i از یک توزیع یکنواخت $U(biL, biU)$ پیروی می‌کند جایی که biL و biU به‌ترتیب نشان‌دهنده حدود پایین و بالای متغیر تصمیم z_i هستند. به‌طور مشابه، سرعت اولیه vy_i از یک توزیع یکنواخت $U(-|biU-biL|, |biU-biL|)$ پیروی می‌کند. برای متغیرهای تصمیم گسسته یک عدد تصادفی Rv_i از $U(0,1)$ تولید می‌شود و مقدار اولیه آن به‌صورت زیر تعیین می‌شود (علامت $[-]$ نشان‌دهنده تابع کف یا جزء صحیح پایین است):

$$z_i = \min\{z_i^{\min} + \lfloor Rv_i(z_i^{\max} - z_i^{\min} + 1) \rfloor, z_i^{\max}\}. \quad (23)$$

مقدار تابع هر ذره با استفاده از OBF جریمه‌شده، یعنی $fp(Prt_{yr})$ به‌ازای $y=1, \dots, NP$ ارزیابی می‌شود. درطول فرآیند بهینه‌سازی، حرکت یک ذره تحت تأثیر سه عامل تعیین می‌شود: (۱) سرعت جریان، (۲) بهترین تجربه شخصی (pbest) و (۳) بهترین تجربه سراسری (gbest). برای تعیین pbest، اگر $fp(Prt_{yr}) \leq fp(pbest_{yr-1})$ برقرار باشد، بهترین موقعیت ذره y ام به‌صورت $Prt_{yr} \rightarrow pbest_{yr}$ به‌روز می‌شود. برای تعیین gbest، اگر $fp(pbest_{yr}) \leq fp(gbest_{r-1})$ به‌ازای $y=1, \dots, NP$ برقرار باشد، بهترین راه‌حل در بین همه ذرات طبق $gbest_{r-1} \rightarrow pbest_{yr}$ تنظیم می‌شود. پس از آن، معیار توقف الگوریتم بررسی می‌شود. اگر $r=NI$ باشد، gbest راه‌حل بهینه است. در غیر این صورت، تکرار با تنظیم $r=r+1$ و تولید دو عدد تصادفی rp و rg که به‌طور یکنواخت بین

انباشته را براساس Ccs متحمل می‌شود.

L3 هزینه موردانتظار اقلام باقی‌مانده در انباشته را محاسبه می‌کند به‌شرطی که تصمیم به رد آن انباشته با احتمال $Pr(p)$ گرفته شود. این هزینه شامل هزینه بازرسی، هزینه تولیدکننده و هزینه مصرف‌کننده می‌شود. طبق مفهوم بازرسی اصلاحی، تمامی (N-ASN) قلم باقی‌مانده بازرسی می‌شوند تا اقلام نامطبق و نامطبق تفکیک شوند. اقلام نامطبق در بازه‌های $(\delta L, LSL)$ و $(USL, \delta U)$ برای تعمیر یا تعویض به تولیدکننده برگردانده شوند. اقلام نامطبق در بازه $(\delta L, \delta U)$ برای مشتری ارسال می‌شود و مشتری مسئول هزینه‌های اضافی احتمالی مرتبط با آن‌ها است.

۳-۵. مدل پیشنهادی

با در نظر گرفتن تابع هدف زبان، مدل اول پیشنهادی ارائه می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{Minimum } E_L \\ \text{Subject to } P_a(AQL) &\geq 1 - \alpha^U \\ P_a(LQL) &\leq \beta^U \\ k_a &> k_r \\ n_1, n_2, m &\in N^+; c \in Z^+, k > 0 \end{aligned} \quad (21)$$

جایی که محدودیت‌هایی برای حفظ معیارهای آماری در سطح مطلوب در نظر گرفته شده است. یک طرح نمونه‌گیری مناسب باید الزامات مختلف تولیدکننده و مصرف‌کننده را رعایت کند. وقتی نسبت اقلام معیوب برابر با AQL باشد، تولیدکننده تمایل دارد که کالای نامطبق، با احتمال زیاد توسط مصرف‌کننده پذیرفته شود. به عبارت دیگر، برای به‌دست آوردن یک طرح معقول با کمترین خطای نوع اول، مقدار حداقلی برای احتمال پذیرش لحاظ می‌شود. وقتی نسبت اقلام معیوب برابر با LQL باشد، مصرف‌کننده تمایل به پذیرش محصول نامطبق با حداقل احتمال را دارد. یعنی حداکثر مقدار خطای نوع دوم برای احتمال پذیرش یک محصول نامطبق را در نظر می‌گیرد.

در مدل دوم نیاز به بهینه‌سازی همزمان توابع هزینه و MAM وجود دارد. به‌دلیل اینکه AQL و LQL در رابطه (۱۶) مقادیر ثابتی هستند برای کمینه‌سازی تانژانت زاویه می‌توان به ماکزیمم‌سازی مخرج آن کسر اقدام کرد. با تقسیم EL بر مخرج کسر رابطه (۱۶) می‌توان به ادغام دو تابع هدف پرداخت. بر این اساس، مدل دوم پیشنهاد می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{Minimum } \frac{E_L}{P_a(AQL) - P_a(LQL)} \\ \text{Subject to } P_a(AQL) &\geq 1 - \alpha^U \\ P_a(LQL) &\leq \beta^U \\ k_a &> k_r \\ n_1, n_2, m &\in N^+; c \in Z^+, k > 0 \end{aligned} \quad (22)$$

مدل‌های اقتصادی-آماري پیشنهادی به‌دنبال حداقل‌سازی تابع هدف غیرخطی توسعه داده شده ضمن حفظ شرایط آماری هستند. به منظور شناسایی مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم، با اضافه کردن توابع جریمه مناسب، نسخه‌های بدون محدودیت مدل‌های پیشنهادی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در واقع هرگونه نقض محدودیت‌ها منجر به افزایش

مجموع ریسک‌ها می‌شود. قبل از انجام مقایسه‌های بیشتر بین مدل‌ها، دو مدل دیگر پیشنهاد می‌شوند. اگر تابع هدف مدل ۱ با تابع متوسط اندازه نمونه جایگزین شود، مدل ۳ به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} \text{Minimum } & ASN \\ \text{Subject to } & P_a(AQL) \geq 1 - \alpha^U \\ & P_a(LQL) \leq \beta^U \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} & k_a > k_r \\ & n_1, n_2, m \in N^+; c \in Z^+, k > 0 \end{aligned}$$

با ادغام تابع MAM در مدل ۳، مدل ۴ ارائه می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{Minimum } & \frac{ASN}{P_a(AQL) - P_a(LQL)} \\ \text{Subject to } & P_a(AQL) \geq 1 - \alpha^U \\ & P_a(LQL) \leq \beta^U \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} & k_a > k_r \\ & n_1, n_2, m \in N^+; c \in Z^+, k > 0 \end{aligned}$$

با مقایسه مقادیر گزارش شده در جداول (۱) تا (۴)، یافته‌های زیر ارائه می‌شود:

مقایسه نتایج مدل‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهد که ادغام Cost-MAM باعث افزایش هزینه در حدود ۱۱/۰۵٪ و کاهش مجموع ریسک‌ها به اندازه ۴/۰۲٪ شده است.

مقایسه نتایج مدل‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهد که ادغام ASN-MAM منجر به کاهش هزینه در حدود ۶۴/۰٪ و کاهش مجموع ریسک‌ها در حدود ۳/۹۰٪ شده است.

لزوماً کمینه کردن ASN منجر به کمترین هزینه نمی‌شود. برای مثال در ترکیب سطر آخر، مدل ۳ با $ASN=77.25$ منجر به هزینه بیشتری نسبت به مدل ۱ با $ASN=100.27$ می‌شود.

مطابق انتظار بیشترین هزینه مربوط به مدل ۳ و کمترین هزینه مربوط به مدل ۱ می‌باشد. یادآوری می‌شود که مدل ۳ براساس کمینه‌سازی ASN بنا نهاده شده است و توجهی به مباحث هزینه ندارد. این امر باعث افزایش هزینه آن نسبت به مدل ۱ با تابع هدف هزینه می‌شود.

به‌طور متوسط، افزایش اندکی در هزینه مدل ۲ نسبت به مدل ۱ منجر به کاهش در مجموع ریسک‌ها می‌شود.

۵-۲. مطالعه موردی

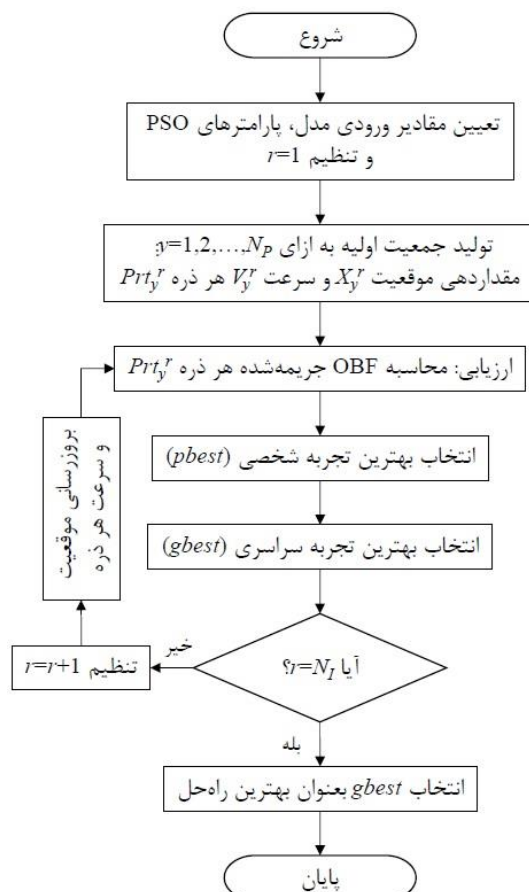
انواع مقاومت‌ها توسط یک سازنده قطعات الکترونیکی تولید می‌شود. برای یک نوع مقاومت خاص، مقدار هدف ضخامت $T=10$ میلی‌متر و حدود مشخصات فنی بالا و پایین به ترتیب برابر ۱۲ و ۸ تنظیم شده است. جدول (۵) نتایج حاصل از یک نمونه ۸۰ تایی گرفته شده را نشان می‌دهد. تحت $\alpha=0.01$ و $\beta=0.05$ ، مدل ۲ دارای کمترین هزینه و ASN در بین چهار مدل می‌باشد. بنابراین، طرح بهینه (79, 66, 0) مختلف برحسب اندازه انباشته $N=1000$ ، ترکیبات مختلف α و β ، و براساس $Cpk1=1.33$ در سطح AQL و $Cpk2=1.00$ در سطح LQL ارائه شده است. در این قسمت به مقایسه نتایج بین مدل ۱ در جدول (۱) و مدل ۲ در جدول (۲) پرداخته می‌شود. نتایج نشان‌دهنده این است که در مدل ۲، هزینه‌ها به اندازه ۱۱/۰۵٪ نسبت به مدل ۱ افزایش داشته است، در حالی که همین تغییر باعث ۴/۰۲٪ بهبود از لحاظ کاهش

(۰،۱) توزیع شده‌اند، ادامه می‌یابد. سپس، سرعت‌ها و موقعیت‌ها با استفاده از معادلات زیر برای $y=1, 2, \dots, NP$ به روز می‌شوند:

$$V_y^r = wV_y^{r-1} + c_1r_p(pbest_y^{r-1} - X_y^{r-1}) + c_2r_g(gbest^{r-1} - X_y^{r-1}), \quad (24)$$

$$X_y^r = X_y^{r-1} + V_y^r. \quad (25)$$

فرایند جستجو تا رسیدن به تعداد تکرارهای از پیش تعیین شده تکرار می‌شود. آخرین مقدار gbest نشان‌دهنده جواب بهینه است.



شکل (۲). گام‌های الگوریتم بهینه‌سازی براساس PSO

۵. نتایج

در این بخش، مطالعات شبیه‌سازی برای ارزیابی کارایی مدل‌ها در کاهش هزینه‌ها و ریسک‌ها انجام می‌شود. سپس، یک مطالعه موردی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در نهایت، یک تحلیل حساسیت به‌منظور شناسایی عوامل تأثیرگذار بر نتایج اجرا می‌شود.

۵-۱. مطالعات شبیه‌سازی

نتایج بهینه و متغیرهای تصمیم طرح AVASP با مدل‌سازی‌های مختلف برحسب اندازه انباشته $N=1000$ ، ترکیبات مختلف α و β ، و براساس $Cpk1=1.33$ در سطح AQL و $Cpk2=1.00$ در سطح LQL ارائه شده است. در این قسمت به مقایسه نتایج بین مدل ۱ در جدول (۱) و مدل ۲ در جدول (۲) پرداخته می‌شود. نتایج نشان‌دهنده این است که در مدل ۲، هزینه‌ها به اندازه ۱۱/۰۵٪ نسبت به مدل ۱ افزایش داشته است، در حالی که همین تغییر باعث ۴/۰۲٪ بهبود از لحاظ کاهش

معنادار ۰/۰۵ عبارتند از: N ، $Cins$ و βU . نتایج خلاصه مربوط به مدل به صورت $R-Sq=99/94\%$ و $R-Sq(adj)=99/89\%$ به دست آمد (شکل (۳) کفایت مدل را نشان می‌دهد). در جدول (۱۰) برای میانگین پاسخ‌ها، مقادیر سطر Δ نشان می‌دهند که تغییر در سطوح مختلف چه مقدار بر EL تأثیر دارد. بر این اساس، رتبه‌بندی در سطر $Rank$ از بزرگترین مقدار Δ تا کوچکترین آن انجام می‌شود. بیشترین تأثیر با تغییر در سطوح اندازه انباشته اتفاق می‌افتد. با توجه به شاخص هزینه از نوع کوچکتر-بهرتر، سطوحی از عوامل تأثیرگذار موردنظر است که کمترین EL را نتیجه می‌دهند. کاهش اندازه انباشته به‌طور کلی EL را کاهش می‌دهد. به‌طور مشابه، مقدار کوچکتر هزینه ثابت بازرسی یک قلم $(Cins)$ باعث کاهش EL می‌شود. افزایش مقدار حد بالای مصرف‌کننده βU نیز به میزان ناچیزی بر کاهش EL تأثیرگذار است. اما، تغییر در مقدار AQL ، حد بالای ریسک تولیدکننده (αU) و یا هزینه تعمیر یا تعویض یک قلم توسط تولیدکننده (Cpr) تأثیر چشم‌گیری بر کاهش یا افزایش EL ندارد.

تصادفی جدید ۶۶ تایی از جدول (۵) به صورت ستونی انتخاب می‌شود. از آنجایی که مقادیر میانگین و انحراف استاندارد نمونه به ترتیب برابر $Cpk=1.1982$ و 0.5203 هستند، مقدار شاخص برابر $Cpk=1.1982$ به دست می‌آید. در نتیجه با توجه به آنکه $1.1982 < k = 1.2296$ انباشته رد می‌شود و باید ۲ بار دیگر نمونه‌گیری انجام شود. اگر در یکی از نمونه‌گیری‌های مجدد $Cpk > k$ شود، انباشته پذیرفته می‌شود. در غیر این صورت، انباشته رد می‌شود.

۳-۵. تحلیل حساسیت

به منظور انجام تحلیل از یک طرح آزمایش متعامد تاگوچی استفاده می‌شود. هزینه کل مورد انتظار به عنوان متغیر پاسخ لحاظ شده است. در این آنالیز، شش متغیر به عنوان عوامل مستقل لحاظ شده که جدول (۶) طرح سطوح مربوط به آن‌ها را نشان می‌دهد. طبق طراحی آزمایش L_{27} آرایه‌ای، نحوه تخصیص سطوح متغیرهای مستقل به آزمایش‌ها در جدول (۷) و نتایج بهینه‌سازی در جدول (۸) ثبت شده است. براساس آنالیز واریانس در جدول (۹)، پارامترهای تأثیرگذار بر EL در سطح

جدول (۱). نتایج بهینه طرح AVASP با مدل ۱ براساس $Cpk1=1.33$ و $Cpk2=1.00$ (توجه $Total Risks=1-Pa(AQL)+Pa(LQL)$)

Total Risks	$\tan(\theta)$	ASN	$Pa(LQL)$	$Pa(AQL)$	EL	m	k	c	n2	n1	β	α
۰/۰۲	۰/۰۴	۳۰۳/۴۲	۰/۰۱	۰/۹۹	۳۸۷۲/۳۳	۲	۱/۲۴	۰	۱۰۰	۱۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱
۰/۰۴	۰/۰۴	۱۸۱/۴۰	۰/۰۱	۰/۹۷	۳۱۰۱/۰۹	۱	۱/۱۷	۰	۱۰۰	۱۰۰		۰/۰۲۵
۰/۰۶	۰/۰۴	۱۸۱/۴۰	۰/۰۱	۰/۹۵	۳۲۳۴/۷۴	۱	۱/۲۰	۰	۱۰۰	۱۰۰		۰/۰۵۰
۰/۰۶	۰/۰۴	۱۸۱/۴۰	۰/۰۱	۰/۹۵	۳۲۳۴/۷۴	۱	۱/۲۰	۰	۱۰۰	۱۰۰		۰/۰۷۵
۰/۰۶	۰/۰۴	۱۸۱/۴۰	۰/۰۱	۰/۹۵	۳۲۳۴/۷۴	۱	۱/۲۰	۰	۱۰۰	۱۰۰		۰/۱۰۰
۰/۰۳	۰/۰۴	۲۶۱/۹۳	۰/۰۳	۰/۹۹	۳۵۸۰/۰۹	۲	۱/۲۳	۰	۸۱	۹۲	۰/۰۲۵	۰/۰۱
۰/۰۵	۰/۰۴	۱۵۹/۳۴	۰/۰۳	۰/۹۸	۲۹۴۴/۷۱	۱	۱/۱۷	۰	۸۹	۸۹		۰/۰۲۵
۰/۰۵	۰/۰۴	۱۵۵/۳۵	۰/۰۳	۰/۹۷	۲۹۴۱/۶۶	۱	۱/۱۷	۰	۸۷	۸۷		۰/۰۵۰
۰/۰۵	۰/۰۴	۱۵۵/۳۵	۰/۰۳	۰/۹۷	۲۹۴۱/۶۶	۱	۱/۱۷	۰	۸۷	۸۷		۰/۰۷۵
۰/۰۵	۰/۰۴	۱۵۵/۳۵	۰/۰۳	۰/۹۷	۲۹۴۱/۶۶	۱	۱/۱۷	۰	۸۷	۸۷		۰/۱۰۰
۰/۰۶	۰/۰۴	۲۱۴/۶۰	۰/۰۵	۰/۹۹	۳۲۴۷/۱۹	۲	۱/۲۳	۰	۶۴	۸۰	۰/۰۵۰	۰/۰۱
۰/۱۳	۰/۰۵	۲۲۳/۵۱	۰/۱۱	۰/۹۸	۳۳۵۵/۶۴	۳	۳/۴۹	۱	۹	۱۰۰		۰/۰۲۵
۰/۱۳	۰/۰۵	۲۹۷/۶۸	۰/۰۸	۰/۹۵	۴۰۳۱/۴۳	۵	۳/۵۰	۰	۸	۸۰		۰/۰۵۰
۰/۰۸	۰/۰۴	۱۲۷/۶۱	۰/۰۵	۰/۹۷	۲۷۳۲/۱۹	۱	۱/۱۶	۰	۷۳	۷۳		۰/۰۷۵
۰/۰۸	۰/۰۴	۱۲۷/۶۱	۰/۰۵	۰/۹۷	۲۷۳۲/۱۹	۱	۱/۱۶	۰	۷۳	۷۳		۰/۱۰۰
۰/۱۶	۰/۰۵	۳۱۴/۸۹	۰/۱۵	۰/۹۹	۳۹۵۴/۳۹	۷	۳/۵۰	۰	۴۴	۷۳	۰/۰۷۵	۰/۰۱
۰/۰۹	۰/۰۴	۱۷۷/۸۶	۰/۰۸	۰/۹۸	۳۰۳۲/۲۰	۲	۱/۲۵	۰	۵۳	۶۹		۰/۰۲۵
۰/۱۰	۰/۰۴	۱۱۳/۸۸	۰/۰۸	۰/۹۸	۲۶۰۸/۰۴	۱	۱/۱۵	۰	۶۶	۶۶		۰/۰۵۰
۰/۱۰	۰/۰۴	۱۱۱/۹۳	۰/۰۸	۰/۹۸	۲۶۰۷/۲۳	۱	۱/۱۵	۰	۶۵	۶۵		۰/۰۷۵
۰/۱۰	۰/۰۴	۱۱۱/۹۳	۰/۰۸	۰/۹۸	۲۶۰۷/۲۳	۱	۱/۱۵	۰	۶۵	۶۵		۰/۱۰۰
۰/۱۱	۰/۰۴	۱۶۵/۹۳	۰/۱۰	۰/۹۹	۲۹۰۲/۸۶	۲	۱/۲۳	۰	۵۳	۶۴	۰/۱۰۰	۰/۰۱
۰/۱۲	۰/۰۵	۱۰۰/۲۷	۰/۱۰	۰/۹۸	۲۵۱۷/۲۴	۱	۱/۱۴	۰	۵۹	۵۹		۰/۰۱
۰/۱۱	۰/۰۵	۱۲۱/۸۴	۰/۱۰	۰/۹۹	۲۶۱۱/۰۱	۱	۱/۱۷	۱	۶۹	۸۳		۰/۰۲۵
۰/۱۲	۰/۰۵	۱۰۰/۲۷	۰/۱۰	۰/۹۸	۲۵۱۷/۲۴	۱	۱/۱۴	۰	۵۹	۵۹		۰/۰۵۰

Total Risks	$\tan(\theta)$	ASN	Pa (LQL)	Pa (AQL)	EL	m	k	c	n2	n1	β	α
۰/۱۲	۰/۰۵	۱۰۰/۲۷	۰/۱۰	۰/۹۸	۲۵۱۷/۲۴	۱	۱/۱۴	۰	۵۹	۵۹		۰/۰۷۵

جدول (۲). نتایج بهینه طرح AVASP با مدل ۲ براساس $Cpk2=1.00$ و $Cpk1=1.33$

Total risks	$\tan(\theta)$	ASN	Pa (LQL)	Pa (AQL)	EL	m	k	c	n2	n1	β	α
۰/۰۲	۰/۰۴	۳۰۳/۴۲	۰/۰۱	۰/۹۹	۳۸۷۲/۳۳	۲	۱/۲۴	۰	۱۰۰	۱۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱
۰/۰۴	۰/۰۴	۳۰۵/۳۰	۰/۰۱	۰/۹۸	۳۹۵۹/۲۷	۲	۱/۲۷	۰	۱۰۰	۱۰۰		۰/۰۲۵
۰/۱۰	۰/۰۴	۴۲۳/۳۳	۰/۰۴	۰/۹۴	۴۹۴۱/۳۶	۶	۳/۲۶	۰	۸۱	۱۰۰		۰/۰۵۰
۰/۰۶	۰/۰۴	۱۸۱/۴۰	۰/۰۱	۰/۹۵	۳۲۳۴/۷۴	۱	۱/۲۰	۰	۱۰۰	۱۰۰		۰/۰۷۵
۰/۰۶	۰/۰۴	۱۸۱/۴۰	۰/۰۱	۰/۹۵	۳۲۳۴/۷۴	۱	۱/۲۰	۰	۱۰۰	۱۰۰		۰/۱۰۰
۰/۰۳	۰/۰۴	۴۶۸/۲۹	۰/۰۳	۰/۹۹	۵۰۳۰/۷۲	۴	۱/۳۳	۰	۷۴	۱۰۰	۰/۰۲۵	۰/۰۱
۰/۰۴	۰/۰۴	۲۵۸/۶۱	۰/۰۳	۰/۹۹	۳۵۶۸/۹۳	۲	۱/۲۴	۰	۷۸	۹۲		۰/۰۲۵
۰/۰۵	۰/۰۴	۱۶۳/۳۴	۰/۰۳	۰/۹۸	۲۹۵۲/۴۵	۱	۱/۱۶	۰	۹۱	۹۱		۰/۰۵۰
۰/۰۵	۰/۰۴	۱۶۳/۳۴	۰/۰۳	۰/۹۸	۲۹۵۲/۴۵	۱	۱/۱۶	۰	۹۱	۹۱		۰/۰۷۵
۰/۰۵	۰/۰۴	۱۶۳/۳۴	۰/۰۳	۰/۹۸	۲۹۵۲/۴۵	۱	۱/۱۶	۰	۹۱	۹۱		۰/۱۰۰
۰/۰۶	۰/۰۴	۲۱۴/۶۰	۰/۰۵	۰/۹۹	۳۲۴۴/۹۷	۲	۱/۲۳	۰	۶۶	۷۹	۰/۰۵۰	۰/۰۱
۰/۰۶	۰/۰۴	۲۱۲/۴۷	۰/۰۵	۰/۹۹	۳۲۳۷/۴۵	۲	۱/۲۳	۰	۶۶	۷۸		۰/۰۲۵
۰/۰۷	۰/۰۴	۱۳۵/۵۰	۰/۰۵	۰/۹۸	۲۷۴۲/۱۳	۱	۱/۱۵	۰	۷۷	۷۷		۰/۰۵۰
۰/۱۲	۰/۰۵	۳۳۱/۶۹	۰/۰۵	۰/۹۳	۴۳۷۸/۹۱	۵	۳/۵۰	۰	۴۴	۹۰		۰/۰۷۵
۰/۰۷	۰/۰۴	۱۳۵/۵۰	۰/۰۵	۰/۹۸	۲۷۴۲/۱۳	۱	۱/۱۵	۰	۷۷	۷۷		۰/۱۰۰
۰/۰۸	۰/۰۴	۱۸۶/۱۸	۰/۰۸	۰/۹۹	۳۰۴۴/۷۹	۲	۱/۲۳	۰	۵۹	۷۰	۰/۰۷۵	۰/۰۱
۰/۰۹	۰/۰۴	۱۸۵/۱۵	۰/۰۸	۰/۹۹	۳۰۴۱/۹۹	۲	۱/۲۳	۰	۵۸	۷۰		۰/۰۲۵
۰/۰۹	۰/۰۴	۱۱۷/۷۹	۰/۰۸	۰/۹۸	۲۶۱۳/۸۸	۱	۱/۱۴	۰	۶۸	۶۸		۰/۰۵۰
۰/۰۹	۰/۰۴	۱۱۷/۷۹	۰/۰۸	۰/۹۸	۲۶۱۳/۸۸	۱	۱/۱۴	۰	۶۸	۶۸		۰/۰۷۵
۰/۰۹	۰/۰۴	۱۱۷/۷۹	۰/۰۸	۰/۹۸	۲۶۱۳/۸۸	۱	۱/۱۴	۰	۶۸	۶۸		۰/۱۰۰
۰/۱۱	۰/۰۴	۲۲۷/۲۱	۰/۱۰	۰/۹۹	۳۳۳۳/۹۷	۳	۱/۳۱	۰	۴۱	۷۱	۰/۱۰۰	۰/۰۱
۰/۱۲	۰/۰۵	۳۵۰/۶۱	۰/۱۰	۰/۹۸	۴۲۷۲/۲۷	۶	۲/۳۱	۰	۱۲	۸۰		۰/۰۱
۰/۱۴	۰/۰۵	۲۶۵/۲۵	۰/۱۰	۰/۹۶	۳۷۷۸/۶۱	۵	۳/۵۰	۰	۴۴	۷۶		۰/۰۲۵
۰/۱۲	۰/۰۵	۱۰۶/۰۹	۰/۱۰	۰/۹۸	۲۵۲۳/۷۲	۱	۱/۱۳	۰	۶۲	۶۲		۰/۰۵۰
۰/۱۲	۰/۰۵	۱۰۶/۰۹	۰/۱۰	۰/۹۸	۲۵۲۳/۷۲	۱	۱/۱۳	۰	۶۲	۶۲		۰/۰۷۵

جدول (۳). نتایج بهینه طرح AVASP با مدل ۳ براساس $Cpk2=1.00$ و $Cpk1=1.33$

Total risks	$\tan(\theta)$	ASN	Pa (LQL)	Pa (AQL)	EL	m	k	c	n2	n1	β	α
۰/۰۲	۰/۰۴	۳۰۳/۴۲	۰/۰۱	۰/۹۹	۳۸۷۲/۳۳	۲	۱/۲۴	۰	۱۰۰	۱۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱
۰/۰۴	۰/۰۴	۳۰۵/۳۰	۰/۰۱	۰/۹۸	۳۹۵۹/۲۷	۲	۱/۲۷	۰	۱۰۰	۱۰۰		۰/۰۲۵
۰/۱۰	۰/۰۴	۴۲۳/۳۳	۰/۰۴	۰/۹۴	۴۹۴۱/۳۶	۶	۳/۵۰	۰	۷۰	۱۰۰		۰/۰۵۰
۰/۱۳	۰/۰۵	۳۸۰/۹۳	۰/۰۳	۰/۹۰	۴۸۲۴/۵۳	۵	۳/۵۰	۰	۴۴	۱۰۰		۰/۰۷۵
۰/۱۱	۰/۰۴	۱۶۵/۵۹	۰/۰۱	۰/۹۰	۳۴۳۱/۳۱	۱	۱/۲۳	۰	۸۲	۹۹		۰/۱۰۰
۰/۰۳	۰/۰۴	۳۵۸/۴۲	۰/۰۳	۰/۹۹	۴۲۵۷/۲۵	۳	۱/۲۸	۰	۶۵	۱۰۰	۰/۰۲۵	۰/۰۱
۰/۰۷	۰/۰۴	۵۲۴/۸۴	۰/۰۵	۰/۹۷	۵۴۸۴/۹۸	۸	۳/۴۲	۰	۸۰	۱۰۰		۰/۰۲۵
۰/۰۷	۰/۰۴	۳۲۴/۸۴	۰/۰۳	۰/۹۵	۴۲۰۹/۶۱	۳	۱/۳۷	۰	۴۵	۹۹		۰/۰۵۰
۰/۱۰	۰/۰۴	۱۳۵/۲۹	۰/۰۲	۰/۹۲	۳۰۸۸/۸۰	۱	۱/۲۱	۰	۷۲	۸۰		۰/۰۷۵
۰/۱۳	۰/۰۵	۴۱۲/۵۵	۰/۰۳	۰/۹۰	۵۰۱۵/۷۶	۵	۲/۴۵	۰	۱۶	۱۰۰		۰/۱۰۰
۰/۰۶	۰/۰۴	۳۶۸/۲۱	۰/۰۵	۰/۹۹	۴۳۲۸/۲۵	۴	۱/۳۵	۰	۴۴	۹۱	۰/۰۵۰	۰/۰۱
۰/۰۷	۰/۰۴	۲۰۰/۶۶	۰/۰۵	۰/۹۸	۳۲۳۲/۸۰	۲	۱/۲۶	۰	۵۳	۷۹		۰/۰۲۵
۰/۱۰	۰/۰۴	۴۲۱/۰۴	۰/۰۵	۰/۹۵	۴۸۶۲/۲۶	۶	۲/۸۵	۰	۱۰	۹۴		۰/۰۵۰
۰/۱۲	۰/۰۵	۱۰۸/۰۸	۰/۰۵	۰/۹۳	۲۹۰۵/۱۱	۱	۱/۲۱	۰	۵۸	۶۶		۰/۰۷۵
۰/۱۵	۰/۰۵	۱۷۴/۷۳	۰/۰۵	۰/۹۰	۳۴۸۹/۴۴	۲	۱/۳۸	۰	۳۳	۷۷		۰/۱۰۰
۰/۰۸	۰/۰۴	۲۵۳/۸۹	۰/۰۸	۰/۹۹	۳۵۲۲/۸۰	۳	۱/۳۰	۰	۴۸	۷۶	۰/۰۷۵	۰/۰۱
۰/۱۰	۰/۰۴	۱۱۱/۲۱	۰/۰۷	۰/۹۸	۲۶۱۰/۵۱	۱	۱/۱۵	۰	۶۴	۶۵		۰/۰۲۵
۰/۱۲	۰/۰۵	۱۶۲/۲۰	۰/۰۸	۰/۹۵	۳۱۱۶/۴۴	۲	۱/۳۲	۰	۳۶	۷۰		۰/۰۵۰
۰/۱۵	۰/۰۵	۹۲/۵۷	۰/۰۷	۰/۹۳	۲۸۰۱/۷۴	۱	۱/۲۱	۰	۴۸	۵۹		۰/۰۷۵
۰/۱۶	۰/۰۵	۲۴۷/۹۶	۰/۰۸	۰/۹۲	۳۸۶۷/۸۴	۴	۲/۸۱	۰	۹	۷۸		۰/۱۰۰
۰/۱۱	۰/۰۴	۱۶۶/۰۶	۰/۱۰	۰/۹۹	۲۹۰۵/۲۴	۲	۱/۲۳	۰	۵۱	۶۵	۰/۱۰۰	۰/۰۱

Total risks	tan (θ)	ASN	Pa (LQL)	Pa (AQL)	EL	m	k	c	n2	n1	β	α
۰/۱۲	۰/۰۵	۳۱۶/۴۵	۰/۱۰	۰/۹۸	۴۰۳۳/۵۵	۵	۱/۶۸	۰	۱۸	۷۹		۰/۰۱
۰/۱۴	۰/۰۵	۲۶۵/۲۵	۰/۱۰	۰/۹۶	۳۷۷۸/۶۱	۵	۳/۵۰	۰	۴۴	۷۶		۰/۰۲۵
۰/۱۷	۰/۰۵	۸۱/۲۹	۰/۱۰	۰/۹۳	۲۷۲۵/۴۴	۱	۱/۲۱	۰	۴۲	۵۳		۰/۰۵۰
۰/۲۰	۰/۰۵	77.25	۰/۱۰	۰/۹۰	۲۸۴۷/۸۱	۱	۱/۲۳	۰	۳۶	۵۳		۰/۰۷۵

جدول (۴). نتایج بهینه طرح AVASP با مدل ۴ براساس Cpk1=1.33 و Cpk2=1.00

Total risks	tan (θ)	ASN	Pa (LQL)	Pa (AQL)	EL	m	k	c	n2	n1	β	α
۰/۰۲	۰/۰۴	۳۰۳/۴۲	۰/۰۱	۰/۹۹	۳۸۷۲/۳۳	۲	۱/۲۴	۰	۱۰۰	۱۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱
۰/۰۴	۰/۰۴	۳۰۵/۳۰	۰/۰۱	۰/۹۸	۳۹۵۹/۲۷	۲	۱/۲۷	۰	۱۰۰	۱۰۰		۰/۰۲۵
۰/۱۰	۰/۰۴	۴۲۳/۳۳	۰/۰۴	۰/۹۴	۴۹۴۱/۳۶	۶	۳/۲۶	۰	۸۱	۱۰۰		۰/۰۵۰
۰/۰۸	۰/۰۴	۱۷۲/۱۴	۰/۰۱	۰/۹۳	۳۳۲۶/۲۳	۱	۱/۲۲	۰	۹۳	۹۷		۰/۰۷۵
۰/۱۱	۰/۰۴	۱۶۵/۵۹	۰/۰۱	۰/۹۰	۳۴۲۹/۶۵	۱	۱/۲۳	۰	۸۲	۹۹		۰/۱۰۰
۰/۰۳	۰/۰۴	۳۵۸/۴۷	۰/۰۳	۰/۹۹	۴۲۵۶/۴۷	۳	۱/۲۸	۰	۶۷	۹۹	۰/۰۲۵	۰/۰۱
۰/۰۵	۰/۰۴	۲۴۷/۷۲	۰/۰۳	۰/۹۸	۳۵۵۳/۶۸	۲	۱/۲۶	۰	۷۰	۹۱		۰/۰۲۵
۰/۰۷	۰/۰۴	۲۳۴/۴۳	۰/۰۳	۰/۹۵	۳۵۹۸/۹۳	۲	۱/۲۹	۰	۵۸	۹۱		۰/۰۵۰
۰/۱۰	۰/۰۴	۱۳۵/۲۹	۰/۰۳	۰/۹۳	۳۰۸۷/۵۲	۱	۱/۲۱	۰	۷۲	۸۰		۰/۰۷۵
۰/۱۱	۰/۰۵	۲۲۲/۰۲	۰/۰۳	۰/۹۱	۳۷۳۴/۴۹	۲	۱/۳۴	۰	۴۷	۹۱		۰/۱۰۰
۰/۰۶	۰/۰۴	۲۹۲/۱۵	۰/۰۵	۰/۹۹	۳۷۹۱/۸۵	۳	۱/۲۹	۰	۵۴	۸۵	۰/۰۵۰	۰/۰۱
۰/۰۷	۰/۰۴	۲۷۵/۸۴	۰/۰۵	۰/۹۸	۳۷۵۱/۰۵	۳	۱/۳۴	۰	۴۵	۸۴		۰/۰۲۵
۰/۱۰	۰/۰۴	۱۱۶/۵۴	۰/۰۵	۰/۹۵	۲۷۹۱/۶۵	۱	۱/۱۸	۰	۶۳	۷۰		۰/۰۵۰
۰/۱۲	۰/۰۵	۳۳۱/۶۹	۰/۰۵	۰/۹۳	۴۳۷۸/۹۱	۵	۳/۵۰	۰	۴۴	۹۰		۰/۰۷۵
۰/۱۵	۰/۰۵	۱۷۴/۷۳	۰/۰۵	۰/۹۰	۳۴۸۹/۴۴	۲	۱/۳۸	۰	۳۳	۷۷		۰/۱۰۰
۰/۰۸	۰/۰۴	۱۸۶/۱۲	۰/۰۷	۰/۹۹	۳۰۴۵/۰۲	۲	۱/۲۳	۰	۶۱	۶۹	۰/۰۷۵	۰/۰۱
۰/۱۰	۰/۰۴	۱۷۲/۶۹	۰/۰۸	۰/۹۸	۳۰۳۹/۷۹	۲	۱/۲۷	۰	۴۸	۶۹		۰/۰۲۵
۰/۱۱	۰/۰۴	۳۷۱/۶۸	۰/۰۷	۰/۹۶	۴۴۶۹/۸۸	۶	۳/۵۰	۰	۸	۸۶		۰/۰۵۰
۰/۱۵	۰/۰۵	۱۵۴/۹۳	۰/۰۸	۰/۹۳	۳۲۰۱/۶۷	۲	۱/۳۶	۰	۳۳	۶۸		۰/۰۷۵
۰/۱۶	۰/۰۵	۲۴۷/۹۶	۰/۰۸	۰/۹۲	۳۸۶۷/۸۴	۴	۲/۸۱	۰	۹	۷۸		۰/۱۰۰
۰/۱۱	۰/۰۴	۱۶۶/۰۷	۰/۱۰	۰/۹۹	۲۹۰۵/۸۴	۲	۱/۲۳	۰	۵۱	۶۵	۰/۱۰۰	۰/۰۱
۰/۱۲	۰/۰۵	۳۵۰/۶۳	۰/۱۰	۰/۹۷	۴۲۷۳/۹۱	۶	۲/۳۴	۰	۱۲	۸۰		۰/۰۱
۰/۱۴	۰/۰۵	۲۶۵/۲۵	۰/۱۰	۰/۹۶	۳۷۷۸/۶۱	۵	۳/۵۰	۰	۴۴	۷۶		۰/۰۲۵
۰/۱۷	۰/۰۵	۸۰/۸۸	۰/۱۰	۰/۹۳	۲۷۱۳/۹۱	۱	۱/۲۱	۰	۴۵	۵۱		۰/۰۵۰
۰/۲۰	۰/۰۵	۱۳۰/۱۷	۰/۱۰	۰/۹۰	۳۲۰۵/۳۰	۲	۱/۴۶	۰	۲۲	۶۲		۰/۰۷۵

جدول (۵). نمونه ۸۰ تایی گرفته شده برای ورودی‌های مدل

۱۰/۱۹	۹/۰۶	۹/۴۰	۹/۷۳	۹/۲۳	۹/۸۰	۹/۵۹	۹/۷۶	۱۰/۰۲	۹/۰۷
۹/۳۹	۱۰/۲۲	۱۰/۰۴	۱۰/۱۰	۹/۶۸	۹/۸۴	۱۰/۲۱	۹/۸۴	۹/۰۵	۸/۷۳
۹/۹۷	۹/۷۳	۱۰/۹۱	۹/۸۰	۱۰/۲۸	۱۰/۲۵	۹/۸۹	۱۰/۵۰	۹/۷۶	۹/۷۶
۱۱/۱۲	۹/۶۱	۹/۴۲	۱۰/۳۳	۸/۸۸	۱۰/۱۲	۱۰/۲۳	۹/۹۱	۹/۳۵	۱۰/۳۶
۹/۰۷	۱۰/۴۳	۱۰/۰۶	۹/۷۱	۱۰/۱۰	۹/۶۳	۹/۸۳	۹/۷۴	۹/۴۹	۹/۷۱
۱۰/۰۱	۹/۴۲	۹/۵۳	۹/۲۶	۱۰/۱۶	۱۰/۵۸	۱۰/۹۹	۹/۸۳	۹/۹۴	۹/۶۹
۹/۶۹	۹/۸۷	۱۰/۷۵	۹/۹۲	۹/۹۰	۹/۷۸	۹/۰۰	۱۰/۱۶	۹/۲۶	۹/۳۰
۹/۴۰	۱۰/۰۰	۱۰/۰۶	۱۰/۵۵	۹/۴۳	۹/۴۱	۹/۶۰	۹/۴۷	۹/۳۳	۱۰/۵۶

جدول (۶). طرح سطوح عوامل مستقل برای تحلیل حساسیت

عامل	F1	F2	F3	F4	F5	F6
------	----	----	----	----	----	----

پارامتر	αU	βU	N	AQL	Cins	Cpr
سطح ۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۱۰۰۰	۰/۰۱۰	۳	۱۲
سطح ۲	۰/۰۵	۰/۰۵	۲۰۰۰	۰/۰۱۵	۷	۲۵
سطح ۳	۰/۱	۰/۱	۵۰۰۰	۰/۰۲۵	۱۵	۵۰

جدول (۷). سطوح عوامل مستقل برای طراحی آزمایش‌های تاگوچی L_{27}

آزمایش	F1	F2	F3	F4	F5	F6	آزمایش	F1	F2	F3	F4	F5	F6
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۵	۲	۲	۳	۱	۳	۱
۲	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۱۶	۲	۳	۱	۲	۱	۲
۳	۱	۱	۱	۱	۳	۳	۱۷	۲	۳	۱	۲	۲	۳
۴	۱	۲	۲	۲	۱	۱	۱۸	۲	۳	۱	۲	۳	۱
۵	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۱۹	۳	۱	۳	۲	۱	۳
۶	۱	۲	۲	۲	۳	۳	۲۰	۳	۱	۳	۲	۲	۱
۷	۱	۳	۳	۳	۱	۱	۲۱	۳	۱	۳	۲	۳	۲
۸	۱	۳	۳	۳	۲	۲	۲۲	۳	۲	۱	۳	۱	۳
۹	۱	۳	۳	۳	۳	۳	۲۳	۳	۲	۱	۳	۲	۱
۱۰	۲	۱	۲	۳	۱	۲	۲۴	۳	۲	۱	۳	۳	۲
۱۱	۲	۱	۲	۳	۲	۳	۲۵	۳	۳	۲	۱	۱	۳
۱۲	۲	۱	۲	۳	۳	۱	۲۶	۳	۳	۲	۱	۲	۱
۱۳	۲	۲	۳	۱	۱	۲	۲۷	۳	۳	۲	۱	۳	۲
۱۴	۲	۲	۳	۱	۲	۳							

جدول (۸). نتایج بهینه طبق طراحی آزمایش‌های تاگوچی L_{27}

آزمایش	n1	n2	c	k	m	EL	ASN	$\tan(\theta)$	Pa (AQL)	Pa (LQL)
۱	۴۷	۹	۱	۳/۵۰۰	۱	۱۴۰۸۲	۵۱/۴۸۸۹	۰/۰۴۰۷	۰/۹۹۲۷	۰/۰۰۹۹
۲	۴۷	۹	۱	۳/۵۰۰	۱	۱۶۴۳۷	۵۱/۴۸۸۹	۰/۰۴۰۷	۰/۹۹۲۷	۰/۰۰۹۹
۳	۴۷	۱۱	۱	۲/۸۰۷۸	۱	۲۱۲۹۰	۵۲/۴۸۶۵	۰/۰۴۰۷	۰/۹۹۲۸	۰/۰۱۰۰
۴	۵۹	۸	۲	۳/۵۰۰	۱	۲۶۵۸۶	۶۲/۹۵۹۴	۰/۰۶۰۷	۰/۹۹۹۴	۰/۰۱۱۲
۵	۵۲	۴۴	۲	۳/۴۹۷۴	۱	۲۸۳۷۷	۵۲/۰۰۸۷	۰/۰۶۱۵	۰/۹۹۹۶	۰/۰۲۳۴
۶	۳۴	۷	۱	۳/۵۰۰	۱	۳۱۴۳۷	۳۷/۳۴۷۰	۰/۰۶۳۳	۰/۹۹۶۲	۰/۰۴۸۷
۷	۶۶	۹	۲	۳/۵۰۰	۱	۶۳۸۹۴	۷۰/۴۸۱۹	۰/۱۰۰۶	۰/۹۹۹۲	۰/۰۰۵۰
۸	۵۹	۴۴	۲	۳/۴۹۰۵	۱	۶۶۰۱۳	۵۹/۰۱۲۶	۰/۱۰۱۱	۰/۹۹۹۴	۰/۰۱۰۷
۹	۵۳	۷	۲	۳/۵۰۰	۱	۷۰۴۹۲	۵۶/۴۲۸۲	۰/۱۰۲۳	۰/۹۹۹۶	۰/۰۲۲۱
۱۰	۶۱	۸	۲	۳/۵۰۰	۱	۲۶۶۷۲	۶۴/۹۶۸۳	۰/۱۰۱۰	۰/۹۹۹۴	۰/۰۰۹۰
۱۱	۶۰	۴۴	۲	۳/۴۹۷۶	۱	۲۹۰۰۸	۶۰/۰۱۳۲	۰/۱۰۱۰	۰/۹۹۹۴	۰/۰۰۹۶
۱۲	۶۰	۴۴	۲	۳/۴۹۵۹	۱	۳۳۸۴۱	۶۰/۰۱۳۲	۰/۱۰۱۰	۰/۹۹۹۴	۰/۰۰۹۶
۱۳	۶۶	۴۴	۲	۳/۴۸۹۱	۱	۶۳۷۸۴	۶۶/۰۱۷۵	۰/۰۴۰۲	۰/۹۹۹۲	۰/۰۰۴۸
۱۴	۵۹	۴۴	۲	۳/۴۹۸۶	۱	۶۶۰۵۳	۵۹/۰۱۲۶	۰/۰۴۰۵	۰/۹۹۹۴	۰/۰۱۰۷
۱۵	۵۳	۷	۲	۳/۵۰۰	۱	۷۰۴۳۳	۵۶/۴۲۸۲	۰/۰۴۰۹	۰/۹۹۹۶	۰/۰۲۲۱
۱۶	۴۰	۷	۱	۳/۵۰۰	۱	۱۳۸۰۲	۴۳/۴۳۷۸	۰/۰۶۱۸	۰/۹۹۴۷	۰/۰۲۴۳
۱۷	۳۴	۶	۱	۳/۵۰۰	۱	۱۵۲۰۹	۳۶/۸۶۸۹	۰/۰۶۳۴	۰/۹۹۶۲	۰/۰۵۰۵
۱۸	۲۹	۶	۱	۳/۵۰۰	۱	۱۷۴۹۶	۳۱/۷۵۲۲	۰/۰۶۶۰	۰/۹۹۷۲	۰/۰۸۸۲
۱۹	۶۵	۹	۲	۳/۵۰۰	۱	۶۳۹۳۲	۶۹/۴۷۹۱	۰/۰۶۰۴	۰/۹۹۹۲	۰/۰۰۵۶
۲۰	۶۱	۸	۲	۳/۵۰۰	۱	۶۶۴۲۷	۶۴/۹۶۸۳	۰/۰۶۰۶	۰/۹۹۹۴	۰/۰۰۹۰
۲۱	۶۰	۴۴	۲	۳/۴۹۵۷	۱	۷۱۱۳۲	۶۰/۰۱۳۲	۰/۰۶۰۶	۰/۹۹۹۴	۰/۰۰۹۶

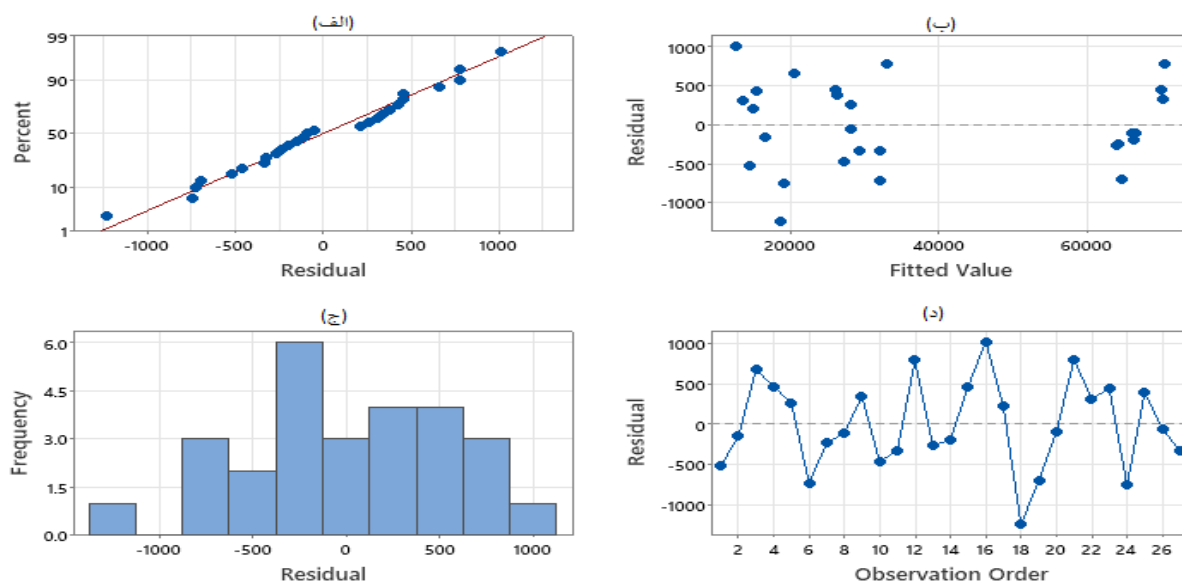
۲۲	۴۰	۷	۱	۳/۵۰۰	۱	۱۳۸۳۴	۴۳/۴۳۷۸	۰/۱۰۳۰	۰/۹۹۴۷	۰/۰۲۴۶
۲۳	۴۴	۴۴	۱	۳/۴۹۸۷	۱	۱۵۸۴۹	۴۴/۱۴۰۸	۰/۱۰۲۱	۰/۹۹۳۶	۰/۰۱۴۱
۲۴	۳۴	۷	۱	۳/۵۰۰	۱	۱۸۵۰۰	۳۷/۳۴۷۰	۰/۱۰۵۵	۰/۹۹۶۲	۰/۰۴۸۷
۲۵	۵۹	۸	۲	۳/۵۰۰	۱	۲۶۶۵۰	۶۲/۹۵۹۴	۰/۰۴۰۵	۰/۹۹۹۴	۰/۰۱۱۲
۲۶	۳۷	۷	۱	۳/۵۰۰	۱	۲۸۱۱۱	۴۰/۳۹۹۷	۰/۰۴۱۶	۰/۹۹۵۵	۰/۰۳۴۴
۲۷	۴۶	۴۴	۲	۳/۴۹۵۳	۱	۳۱۶۶۲	۴۶/۰۰۶۰	۰/۰۴۱۹	۰/۹۹۹۷	۰/۰۴۴۶

جدول (۹). تحلیل واریانس میانگین‌های هزینه کل مورد انتظار

منبع تغییرات	D.F.	Seq. S.S.	Adj. S.S.	Adj. M.S.	F-value	P-value
F1	۲	۴۳۲۶۵۳	۴۳۲۶۵۳	۲۱۶۳۲۶	۰/۳۹	۰/۶۸۲
F2	۲	۵۷۷۴۴۳۲	۵۷۷۴۴۳۲	۲۸۸۷۲۱۶	۵/۲۴	۰/۰۲۰
F3	۲	۱۲۴۶۳۷۷۴۹۹۳	۱۲۴۶۳۷۷۴۹۹۳	۶۲۳۱۸۸۷۴۹۶	۱۱۳۱۵/۷۴	۰/۰۰۰
F4	۲	۱۱۳۸۱۱۳	۱۱۳۸۱۱۳	۵۶۹۰۵۶	۱/۰۳	۰/۳۸۱
F5	۲	۱۶۱۴۰۵۳۳۸	۱۶۱۴۰۵۳۳۸	۸۰۷۰۲۶۶۹	۱۴۶/۵۴	۰/۰۰۰
F6	۲	۱۴۲۶۲۵	۱۴۲۶۲۵	۷۱۳۱۲	۰/۱۳	۰/۸۸۰
باقی‌مانده	۱۴	۷۷۱۰۱۸۶	۷۷۱۰۱۸۶	۵۵۰۷۲۸		
مجموع	۲۶	۱۲۶۴۰۳۷۸۳۳۹				

جدول (۱۰). میانگین پاسخ برای هر پارامتر

عامل	F1	F2	F3	F4	F5	F6
پارامتر	αU	βU	N	AQL	Cins	Cpr
سطح ۱	۳۷۶۲۳	۳۸۰۹۱	۱۶۲۷۸	۳۷۶۱۱	۳۴۸۰۴	۳۷۴۱۳
سطح ۲	۳۷۳۶۶	۳۷۲۰۶	۲۹۱۴۹	۳۷۱۵۵	۳۶۸۳۲	۳۷۳۷۵
سطح ۳	۳۷۳۴۴	۳۷۰۳۷	۶۶۹۰۷	۳۷۵۶۷	۴۰۶۹۸	۳۷۵۴۵
Delta	۲۷۹	۱۰۵۵	۵۰۶۲۹	۴۵۶	۵۸۹۴	۱۷۰
Rank	۵	۳	۱	۴	۲	۶



شکل (۳). نمودارهای باقی‌مانده: (الف) نمودار احتمال نرمال، (ب) باقی‌مانده‌ها بر حسب مقادیر برازش شده، (ج) هیستوگرام و (د) مقادیر باقی‌مانده‌ها بر حسب توالی آن‌ها

۶. نتیجه‌گیری

ایده‌آل و پایین نگاه‌داشتن هزینه‌های پیاده‌سازی معرفی شد. علاوه بر این، سه مدل مجزا برای مقایسه پیشنهاد شد. برای افزایش کیفیت راه‌حل و کاهش زمان محاسبات، یک رویکرد مبتنی بر PSO پیشنهاد

این مطالعه با هدف تعیین سیاست‌های بهینه برای بازرسی انباشته براساس مشخصه‌های وصفی-متغیر انجام شد. برای دستیابی به این اهداف، یک مدل Cost-MAM برای به‌دست آوردن یک منحنی OC

<https://doi.org/10.1016/j.apm.2022.07.013>

- [7] Jafarian-Namin, S., Fattahi, P., & Salmasnia, A. (2024a). Assessing the economic-statistical performance of variable acceptance sampling plans based on loss function. *Computational Statistics*. <https://doi.org/10.1007/s00180-024-01581-3>
- [8] Banihashemi, a., Fallahnezhad, M. S., & Amiri, A. (2020). Developing two variables sampling plans considering the compliance rate with the ideal OC curve. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 12(4), 242-251. https://www.jise.ir/article_118.html
- [9] Jafarian-Namin, S., Fattahi, P., & Salmasnia, A. (2024b). Robust Design of Loss-Based Ideal Repetitive Group Sampling Plan under Uncertainty of Input Parameters. *Scientia Iranica*. <https://doi.org/10.24200/sci.2023.59768.6413>
- [10] Pawan Teh, M. A., Aziz, N., & Zain, Z. (2021). A new method in designing group chain acceptance sampling plans (GChSP) for generalized exponential distribution. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 38(5), 1116-1129. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-11-2020-0180>
- [11] Liaqat, M., Saeed, N., Saleem, K., Aslam, M., & Sherwani, R. A. K. (2023). A Modified Group Chain Sampling Plan for lifetime following Kumaraswamy Generalized Power Weibull Distribution with Minimum Angle Approach. *Scientia Iranica*. <https://doi.org/10.24200/sci.2023.59768.6413>
- [12] Li, Y., Pu, X., & Xiang, D. (2011). Mixed Variables-Attributes Test Plans for Single and Double Acceptance Sampling under Exponential Distribution. *Mathematical Problems in Engineering*, 2011(1), 575036. <https://doi.org/10.1155/2011/575036>
- [13] Aslam, M., Azam, M., Balamurali, S., & Jun, C.-H. (2012). A new mixed acceptance sampling plan based on sudden death testing under the Weibull distribution. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 29(6), 427-433. <https://doi.org/10.1080/10170669.2012.717542>
- [14] Balamurali, S., Aslam, M., & Jun, C.-H. (2016). Designing of two mixed variable lot-size sampling plans using repetitive sampling and resampling based on the process capability index. *Sequential Analysis*, 35(4), 413-422. <https://doi.org/10.1080/07474946.2016.1238246>
- [15] Wang, F.-K., Tamirat, Y., Lo, S.-C., & Aslam, M. (2017). Dependent Mixed and Mixed Repetitive Sampling Plans for Linear Profiles. *Quality and Reliability Engineering International*, 33(8), 1669-1683. <https://doi.org/10.1002/qre.2134>
- [16] Balamurali, S. (2017). A new mixed chain sampling plan based on the process capability index for product acceptance. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 46(7), 5423-5439. <https://doi.org/10.1080/03610926.2017.1339089>
- [17] Balamurali, S. (2018). Optimal designing of a new mixed variable lot-size chain sampling plan based on the process capability index. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 47(10), 2490-2503. <https://doi.org/10.1080/03610926.2017.1325096>

شد. سپس مطالعاتی به منظور اعتبارسنجی مدل‌های ارائه شده انجام شد. مقایسه مدل‌های ۱ و ۲ کاهش ریسک در مدل Cost-MAM را نشان می‌دهد اگرچه افزایش در هزینه را شامل می‌شود. یافته‌های کلیدی عبارتند از: (۱) ادغام MAM با ASN تأثیر چندانی نداشت، (۲) کاهش ASN ذاتاً هزینه‌ها را کاهش نمی‌دهد، (۳) مدل با هدف ASN بیشترین هزینه را متحمل شد در حالی‌که مدل با تابع هدف هزینه مطابق انتظار کمترین هزینه را داشت، و (۴) افزایش جزئی در هزینه مدل Cost-MAM نسبت به مدل Cost منجر به دستیابی به منحنی OC بهینه شد. درنهایت، سیاست AVASP بهینه برای مطالعه عملی اجرا شد. تحلیل حساسیت برای ارزیابی اثرات پارامترهای مدل بر نتایج بهینه انجام شد. یافته‌ها نشان می‌دهد که بیشترین تأثیر با تغییر در سطوح اندازه انباشته بر EL اتفاق می‌افتد. به‌طور مشابه، مقدار کوچکتر هزینه ثابت بازرسی یک قلم باعث کاهش EL می‌شود. افزایش مقدار حد بالای خطای مصرف‌کننده نیز به‌میزان ناچیزی بر کاهش EL تأثیرگذار است. با شناسایی عوامل کلیدی مؤثر بر EL، می‌توان به مدل‌سازی در شرایط عدم قطعیت این عوامل پرداخت. تحقیقات آینده می‌تواند با ارزیابی AVASP‌های جدید، توسعه مدل‌های جدید و پیشنهاد روش‌های حل کارآمد گسترش یابند.

مراجع

- [1] Wu, C.-W., Shu, M.-H., Wang, P.-A., & Hsu, B.-M. (2021). Variables skip-lot sampling plans on the basis of process capability index for products with a low fraction of defectives. *Computational Statistics*, 36(2), 1391-1413. <https://doi.org/10.1007/s00180-020-01049-0>
- [2] El Farme, N. (2025). A switcher skip lot-sampling plan under resubmitted lots using the Taguchi capability index for building a solid vendor-customer relationship. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 54(2), 476-499. <https://doi.org/10.1080/03610926.2024.2314621>
- [3] Wang, Z.-H., Wu, C.-W., & Li, P.-Y. (2025). An improved skip-lot sampling scheme with resampling mechanism using an advanced capability index. *International Journal of Production Research*, 63(1), 104-118. <https://doi.org/10.1080/00207543.2024.2357736>
- [4] Banihashemi, A., Fallah Nezhad, M. S., & Amiri, A. (2021). A new approach in the economic design of acceptance sampling plans based on process yield index and Taguchi loss function. *Computers & Industrial Engineering*, 159, 107155. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107155>
- [5] Prajapati, D., Mondal, S., & Kundu, D. (2024). Two sample Bayesian acceptance sampling plan. *Annals of Operations Research*, 340(1), 425-449. <https://doi.org/10.1007/s10479-023-05804-6>
- [6] Ahmadi Nadi, A., Gildeh, B. S., Kazempoor, J., Tran, K. D., & Tran, K. P. (2023). Cost-effective optimization strategies and sampling plan for Weibull quantiles under type-II censoring. *Applied Mathematical Modelling*, 116, 16-31.

- [20] Balamurali, S. (2022). Combined attri-vari inspection policy for resubmitted lots based on the process capability index. *Communications in Statistics - Simulation and Computation*, 51(9), 5406-5425.
<https://doi.org/10.1080/03610918.2020.1771367>
- [21] Balamurali, S., Aslam, M., Ahmad, L., & Jun, C.-H. (2020). A mixed double sampling plan based on Cpk. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 49(8), 1840-1857.
<https://doi.org/10.1080/03610926.2019.1565836>
- [18] Usha, M., & Balamurali, S. (2017). Designing of a mixed-chain sampling plan based on the process capability index with chain sampling as the attributes plan. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 46(21), 10456-10475.
<https://doi.org/10.1108/IJQRM-11-2016-0213>
- [19] Balamurali, S., & Usha, M. (2018). A new mixed repetitive group sampling plan based on the process capability index for product acceptance. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 35(2), 463-480.
<https://doi.org/10.1080/03610918.2020.1771367>



A Comparative Study of Models for Acceptance Sampling with Attribute-Variable Quality Characteristics

Mahsa Abdolvand¹ , Ali Salmasnia^{2*} , Samrad Jafarian Namini³ 

1. MSc Student, Department of Industrial Engineering, Faculty of Technology and Engineering, University of Qom, Qom, Iran

2. Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Technology and Engineering, University of Qom, Qom, Iran

3. Assistant Professor, Department of Engineering Sciences, Faculty of Advanced Technologies, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2025/02/18

Revised: 2025/05/03

Accepted: 2025/06/04

Keywords:

Acceptance Sampling plan
Attribute-Variable Quality
Characteristics
Cost Function
Minimum Angle Method
Economic-Statistical Design

ABSTRACT

This study designs a mixed attribute-variable acceptance sampling plan (AVASP) based on process capability index. The initial design aims to minimize the cost function subjected to some statistical criteria. Then, to reduce the risks, the minimum angle method (MAM) is used to develop the bi-objective Cost-MAM model. In addition, two similar models are developed without considering economic indicator. the first model uses average sample number (ASN) as the objective function, while the second one is a bi-objective model with the ASN-MAM objective function. In order to provide appropriate results in a reasonable time, the particle swarm optimization (PSO) algorithm is used to solve the aforementioned models. The four proposed models are compared by conducting simulation studies. After selecting the preferred model, the optimal policy of the AVASP is implemented in a case study. Finally, a sensitivity analysis is presented to identify the parameters affecting the results.

* Corresponding author. A. Salmasnia

Tel.: 021-22071036; E-mail address: a.salmasnia@qom.ac.ir