International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2013)

November 2013, Volume 24, Number 3
pp. 299-314

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

Optimization of Robust Design for Uncorrelated Multi-Response Problems with Desirability Function Approach

M.R. Nabatchian , H. Shahriari* & R.Shafaei

Mohammad Reza Nabatchian *, PhD student , Industrial Engineering Department , K.N.Toosi University of Technology*
Hamid Shahriari *, Associate professor , Industrial Engineering Department , K.N.Toosi University of Technology*
Rasoul Shafaei *, Associate professor, Industrial Engineering Department , K.N.Toosi University of Technology*

Keywords

Robust design ,
Time-oriented quality characteristic,
Desirability function ,
Quality loss function ,
Multiresponse optimization

ABSTRACT

Robust design is a new and innovative approach for product quality improvement with the lowest cost which sustains the profitability and competitiveness of manufacturing and service organizations in today's competitive markets. In the nearly 25 years of its existence, interesting innovative based solutions have been proposed to solve the problems in this area. Recent years have witnessed a growing interest of research in the study of the robustness on the time line. In this area, one often needs to consider multiple quality characteristics. However, little work has been done to address this critical issue. The purpose of this article is to solve this problem with the aid of mathematical modeling of quality characteristic via desirability function. It is expected that the obtained results can satisfy the designers' requirements to a large extent.

© 2013 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 24, No. 3, All Rights Reserved

* **Corresponding author. Hamid Shahriari**
Email: *hshahriari@kntu.ac.ir*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-18]

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــریت تولیـــد

شمـــاره ۳، جلـــد ۲۴، پاییـــز ۱۳۹۲
صفحـــه ۳۱۴-۳۰۰

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت ایران

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

بهینه سازی مسائل طراحی استوار با چندین شاخص کیفی ناهمبسته با استفاده از تابع مطلوبیت

محمدرضا نباتچیان، حمید شهریاری* و رسول شفائی

کلمات کلیدی

طراحی استوار
شاخصهای کیفی زمان محور
تابع مطلوبیت
تابع زیان کیفی
بهینه سازی چند پاسخه

چکیده:

طراحی استوار ، راهکاری نوین و مبتنی بر خلاقیت برای ارتقاء سطح کیفی محصولات با حداقل هزینه ممکن می باشد که در دوران رقابتی امروز می توان از آن در سازمانهای تولیدی و حتی خدماتی استفاده و موجبات حفظ سود آوری و رقابت پذیری بنگاه اقتصادی را فراهم نمود . در طی حدوداً ۲۵ سال که از عمر این روش می گذرد، ابتکارات و روشهای نوینی برای حل آن ارائه شده است، تا آنجا که در سالهای اخیر ، توجه محققین به بررسی استواری در بستر زمان معطوف گردیده است. در بررسی طراحی استوار در بستر زمان، تاکنون به بررسی همزمان چندین شاخص کیفی توجه نشده است. در مقاله حاضر با مدلسازی ریاضی شاخصهای کیفی، به کمک تابع مطلوبیت ، به حل این نوع مسائل پرداخته و در نهایت پاسخهایی که تا حد ممکن تمامی نیازهای طراح را برآورده سازد ، ارائه می گردد.

۱. مقدمه

در مسائل طراحی استوار ، معمولاً به بررسی یک شاخص کیفی و یا چندین شاخص کیفی تنها در یک مقطع زمانی پرداخته می شود . در برخی مسائل ، می بایست چندین شاخص کیفی را به صورت توأم و در طی زمان مورد مطاله قرار داد . چنانچه برای هر شاخص کیفی ، یک پروفایل عملکرد برای میانگین تعریف شود ، سعی بر آنست که میانگین بر روی مقدار هدف قرار گرفته و واریانس در حد ممکن کوچک گردد . در این مقاله برای رسیدن به این اهداف از تابع مطلوبیت کمک گرفته می شود.

در بخش دوم به مرور ادبیات موضوع می پردازیم . در بخش سوم مسأله مورد نظر تعریف می شود . روش پیشنهادی برای مدلسازی و حل این نوع مسائل در بخش چهارم ارائه می گردد . در بخش پنجم یک مثال عددی از شرایط واقعی مورد بررسی قرار می گیرد. بخش ششم نیز به نتیجه گیری اختصاص دارد .

تاریخ وصول: ۹۰/۶/۹
تاریخ تصویب: ۹۱/۲/۹

محمدرضا نباتچیان، دانشجوی دکترای مهندسی صنایع ، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی ، mrnabatchian@dena.kntu.ac.ir
***نویسنده مسئول مقاله: دکتر** حمید شهریاری، دانشیار دانشکده مهندسی صنایع ، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی hshahriari@kntu.ac.ir
دکتر رسول شفائی، دانشیار دانشکده مهندسی صنایع ، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی shafaei@kntu.ac.ir

۲ . پیشینه موضوع

۱ – ۲. تعریف: طراحی استوار روشی مهندسی است برای بهینه سازی شرایط یک محصول یا فرآیند به نحوی که حداقل حساسیت را نسبت به عوامل ایجاد تغییرات از خود نشان دهد و در نهایت ، محصولاتی با کیفیت مطلوب و هزینه تولید و مصرف پایین عرضه نماید . این روش نخستین بار توسط تاگوچی مطرح گردید . روش تاگوچی برای طراحی استوار شامل سه مرحله اصلی طراحی سیستم به منظور طراحی مفهومی سیستمی که قرار است بررسی گردد ، طراحی پارامترها به منظور تعیین مقادیر مناسب برای پارامترها در راستای نیل به استواری و طراحی تلرانسها جهت ایجاد تعادل میان هزینه ها و کیفیت یا استواری مورد نظر می باشد [۱] . در این روش از سه مبنا ی محاسباتی به شرح ذیل استفاده شده است :

۱-۱-۲. **تابع زیان کیفی** : تاگوچی برای بیان میزان کیفیت یک محصول ، از هزینه هایی که به دلیل مغایرت عملکرد محصول با اهداف تعیین شده به مشتری تحمیل می شود استفاده و تابع

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-18]

زیان کیفی را برای انواع متغیرهای پاسخ به شرح ذیل تعریف نمود [۲] و [۳]:

الف) حالت مقدار اسمی بهترین است[1] (NTB): در این نوع متغیر پاسخ ، مقداری به عنوان هدف[2] از پیش تعیین می گردد و محدوده ای بین حدود فنی پایین و بالا[3] برای تغییرات مجاز متغیر پاسخ درنظر گرفته می شود . به عنوان مثال وزن درج شده بر روی بسته مواد غذایی مشمول این حالت می گردد . در این حالت ، مقدار تابع زیان کیفی از رابطه زیر به دست می آید :

$$L(y) = k(y-m)^2$$
$$E\big(L(y)\big) = k[(\mu_y - m_y)^2 + \sigma_y^2)] \qquad (۱)$$
$$k = \frac{L_0}{\Delta_0^2}$$

ب) حالت هرچه بیشتر بهتر[4] (LTB) : در این نوع متغیر پاسخ ، هرچه مقدار متغیر پاسخ بزرگتر باشد بهتر است . در این حالت معمولاً حد پایین برای متغیر پاسخ در نظر گرفته و مقادیر کمتر از آن قابل قبول نمی باشد و نیز حد بالا برای آن منظور می شود و مقادیر بالاتر از آن ، هرچند بسیار مطلوب می باشند ، لیکن مزیت چندانی نسبت به مقادیر مساوی حد بالا ندارند . به عنوان مثال ، استحکام بدنه یک خورو از حد مشخصی نباید کمتر باشد ولی بالاتر بودن آن از حد بالای تعریف شده ، مزیت چندانی محسوب نمی شود . در این حالت ، مقدار تابع زیان کیفی از رابطه زیر به دست می آید :

$$L(y) = k\left(\frac{1}{y}\right)^2$$
$$E\big(L(y)\big) \approx \frac{k}{\mu_y^2}\left(1 + 3\frac{\sigma_y^2}{\mu_y^2}\right) \qquad (۲)$$

پ) حالت هرچه کمتر ، بهتر[5] (STB) : در این نوع متغیر پاسخ ، هرچه مقدار متغیر پاسخ کوچکتر باشد ، بهتر است . در این حالت معمولاً حد بالا برای متغیر پاسخ قرار داده و مقادیر بزرگتر از آن قابل قبول نمی باشد و نیز حد پایین برای آن قرار می دهند و مقادیر کمتر از آن، هرچند بسیار مطلوب می باشند ، لیکن مزیت چندانی نسبت به مقادیر مساوی حد پایین ندارند. به عنوان مثال ، در بررسی میزان آلایندگی خودروهای بنزینی، حد بالا برای هر یک از شاخصهای آلایندگی قرار می دهند و مقادیر آلایندگی نباید از حد بالای خود بزرگتر شوند، لیکن صفر نمودن این شاخصها نیز امری محال است ، لذا حد پایین نیز برای آنها لحاظ می شود و مقادیر کمتر از آن، هرچند مطلوبند لیکن تفاوتی با مقادیر منطبق بر حد پایین ندارند . در این حالت ، مقدار تابع زیان کیفی از رابطه زیر به دست می آید :

$$L(y) = ky^2 \;\Rightarrow E\big(L(y)\big) = k(\mu_y^2 + \sigma_y^2) \qquad (۳)$$

در روابط (۱) ، (۲) و (۳) علائم به کار رفته عبارتند از :

y : مقدار کمی شاخص کیفی مورد مطالعه

μ_y : میانگین مقادیر شاخص کیفی

σ^2_y : واریانس مقادیر شاخص کیفی

m_y : مقدار هدف تعریف شده برای شاخص کیفی

K : ضریب هزینه تابع زیان کیفی

Δ_0 : تلرانس مجاز شاخص کیفی

L_0 : میزان تابع زیان کیفی در نقطه مرزی

۲-۱-۲. آرایه های متعامد[6] : دومین نوآوری اصلی تاگوچی ، تدوین روشی جدید برای گردآوری مشاهدات ناشی از انجام آزمایشات می باشد. تاگوچی با قرار دادن دو جدول به صورت متقاطع ، یکی شامل تنظیمات عوامل قابل کنترل که به آن جدول درونی[7] گفته می شود و دیگری شامل تنظیمات عوامل غیر قابل کنترل که به آن جدول خارجی[8] اتلاق می گردد ، آرایه های متعامد را تعریف نمود .

۳-۱-۲. تابع علامت به اغتشاش[9] (SNR): به منظور بهینه سازی مدل طراحی پارامترها ، تاگوچی اقدام به طراحی توابع هدف ثابتی برای هر یک از حالات متغیر پاسخ به شرح زیر نمود : [۴]

الف) حالت NTB :

$$SNR = 10\log\frac{\bar{y}^2}{s^2} \qquad (۴)$$

ب) حالت LTB :

$$SNR = -10\log\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{1}{y_i}\right)^2\right] \qquad (۵)$$

[1] *NTB : Nominal The Best*
[2] *Target*
[3] *Lower Specification Limit (LSL),Upper specification limit (USL)*
[4] *LTB : Larger The Better*
[5] *STB : Smaller The Better*
[6] *Orthogonal Arrays*
[7] *Inner Array*
[8] *Outer Array*
[9] *Signal to Noise Ratio (SNR)*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-18]

پ) حالت STB :

$$SNR = -10 \log[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i^2] \quad (۶)$$

بحث طراحی استوار دارای تعاریف ، دسته بندیها و نکات دیگری نیز می باشد که برای اطلاع از آنها می توان به منابع [۵] و [۶] مراجعه نمود. علیرغم مزایای بزرگ مفهومی روش تاگوچی ، محققان بسیاری از روشهای جمع آوری و تحلیل داده های ارائه شده انتقاد نموده اند و روشهای جایگزین را برای آرایه های متعامد و تابع علامت به اغتشاش مطرح کرده اند .

۲-۲. طراحی پارامترها برای مسائل با چندین متغیر پاسخ

با توجه به پیچیدگی محصولات جدید و عدم امکان اکتفا به تنها یک شاخص کیفی برای بررسی کیفیت محصول ، از بررسی همزمان چندین شاخص کیفی استفاده شده و مقادیر مناسب به پارامترها به نحوی تخصیص می یابند که با رعایت شرایط تصریح شده در مسأله ، تمامی شاخصهای کیفی به هدف مورد نظر نزدیک شوند .

برخی از مهمترین روشهای ارائه شده برای این منظور عبارتند از :

- **روش روی هم اندازی منحنی های کانتور**[۱] : در این روش از بازرسی چشمی برای تشخیص مقادیر مناسب پارامترها جهت بهینه سازی همزمان چندین متغیر پاسخ استفاده می شود .[۷]

- **روش تابع مطلوبیت**[۲] : از آن برای تبدیل مسأله چند هدفه به مسأله یک هدفه استفاده می شود .[۸]

- **روش فاصله عمومی شده**[۳] : از آن برای یافتن مقادیر بهینه به شرط حداقل نمودن فاصله بر روی فضای مورد آزمایش استفاده می شود. [۹]

- **روش تابع زیان کیفی**[۴] : به کمک آن با استفاده از تابع درجه دوم زیان کیفی ، مقادیری برای پارامترها تعیین می گردد که در مجموع هزینه ها را به حداقل برساند .[۱۰] و [۱۱]

- **روش پاسخ دوگانه**[۵] : روشی است مبتنی بر مدلسازی ریاضی که در آن با استفاده از حضور میانگین در تابع هدف و حضور واریانس در محدودیت مدل و یا بالعکس سعی در رساندن میانگین به مقدار مطلوب و با شرط حداقل نمودن واریانس دارد .[۱۲]

- **روشهای مبتنی بر قضاوت مهندسی**[۶] : در آن به هنگام ایجاد تعارض میان مقادیر متغیرها در بهینه سازی شاخصهای گوناگون ، از نظرات خبرگان فن استفاده می گردد .[۱]

- **روش تخصیص ارزش وزنی**[۷] : در این روش بر اساس ارزش وزنی اختصاص یافته به هر شاخص ، یک شاخص کلی تعریف می شود و بهینه سازی بر روی آن صورت می پذیرد .[۱۳]

- **روش تحلیل رگرسیونی** [۸]: از این روش برای حل مسأله ای با چندین شاخص کیفی استفاده می شود ؛ لیکن به دلیل مشکلاتی نظیر منظور نکردن وابستگی میان شاخصها ، پیچیدگی روش با زیاد شدن تعداد متغیرهای مستقل و نظایر آن ، کاربرد وسیعی پیدا نکرده است .[۱۰]

- **روش مؤلفه های اصلی** [۹]: این روش فرآیندی محاسباتی برای تبدیل متغیرهای وابسته ، به متغیرهای مستقل کمتری که به آنها مؤلفه های اصلی گفته می شود ، می باشد .[۱۴]

- **روش تحلیل پوششی داده ها بر اساس معیار درجه بندی**[۱۰]: ابزاری است مبتنی بر برنامه ریزی خطی ، جهت اندازه گیری کارآیی نسبی مجموعه ای از واحدهای تصمیم گیر[۱۱] . این روش به خصوص در مواردی که تعدد عوامل ورودی و خروجی ، موجب مشکل شدن مقایسه گزینه ها شود، کاربرد بیشتری دارد .[۱۵]

- **روش تصمیم-گیری چند معیاره بر اساس منطق فازی**[۱۲]: این روش در پی انتخاب گزینه مناسب از میان گزینه های موجود می باشد که هر گزینه دارای خواص متعدد و اغلب ، متضاد می باشد. در این روش به کمک الگوریتم TOPSIS[۱۳]، پاسخی ارائه می شود که حداقل فاصله را نسبت به پاسخ بهینه و حداکثر فاصله را نسبت به پاسخ غیر بهینه

[1] *Contour Overlay Method*
[2] *Desirability Function Method*
[3] *Generalized Distance Approach*
[4] *Loss Function Approach*
[5] *Dual Response Approach*
[6] *Engineering Judgement*
[7] *Assignment of Weight*
[8] *Regression Analysis*
[9] *Principal Component Analysis (PCA)*
[10] *Data Envelopment Analysis based Ranking Approach (DEAR)*
[11] *Decision Making Unit (DMU)*
[12] *Fyzzy Multiple Attribute Decision Making (MADM)*
[13] *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution(TOPSIS)*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-18]

داشته باشد . مزیت این روش لحاظ نمودن همزمان تابع هدف و محدودیتهای مسأله می باشد .[۱۶]

• **روش منطق فازی**[1] : در این روش تابع زیان کیفی هر پاسخ را فازی نموده و یک تابع زیان کلی تعریف و بهینه سازی بر روی آن انجام می شود .[۱۷] و [۱۸]

• **روش نسبتهای خاکستری**[2]: این روش با استفاده از منطق روابط خاکستری برای کار بر روی آرایه های متعامد تاگوچی مطرح گردیده است . در این روش ، از شاخص مرسوم در روش تاگوچی یعنی SNR استفاده نمی شود ، بلکه از شاخص خاکستری نسبی برای حل مسائل با پاسخهای چندگانه استفاده می شود . [۱۹] و [۲۰] و [۲۱]

• **روش شبکه های عصبی**[3]: این روش ، ترکیبی از فنون شبکه های عصبی و مؤلفه های اصلی می باشد . بدین ترتیب که طی یک فرآیند چهار مرحله ای ، ابتدا شاخص کیفی به کمک تابع زیان کیفی تاگوچی برآورد می گردد ؛ سپس یک مدل اشاعه یابنده معکوس عصبی برای ایجاد ارتباط میان عوامل قابل کنترل و زیان کیفی متناظر معرفی می گردد . آنگاه روش تحلیل مؤلفه های اصلی برای تبدیل مجموعه پاسخها به مجموعه مؤلفه های اصلی مستقل به کار گرفته می شود . درنهایت ترکیب مناسب مقادیر عوامل قابل کنترل به دست می آید . مزیت عمده این روش ، کاستن از تناقضات موجود در تعیین مقادیر بهینه برای عوامل مختلف می باشد. [۲۲] و [۲۳]

• **شاخص SNR برای حالت چند پاسخه**[4]: در این روش ، منطق تاگوچی به حالت چند پاسخه تعمیم می یابد . بدین صورت که برای هر پاسخ ، تابع زیان کیفی محاسبه شده و شاخص SNR چند پاسخه برای تعیین درجات بهینه عوامل قابل کنترل مورد استفاده قرار می گیرد .[۱۵]

• **روش برنامه ریزی هدف محور**[5] : این روش نخستین بار برای بهینه سازی یک مسأله با سه متغیر پاسخ و هفت فاکتور دو درجه ای مطرح گردید . عیب این روش پیچیدگی محاسبات و عدم درک مناسب توسط کاربران با سطح آگاهی پایین نسبت به علوم آماری و مهندسی می باشد .[۲۴]

[1] *Fuzzy Logic*
[2] *Grey Relational Analysis*
[3] *Neural Networks*
[4] *Multi-Response Signal to Noise Ratio (MSNR)*
[5] *Goal-Programming Approach*

۳-۲. بررسی شاخص کیفی در مرور زمان و مقایسه آن با پروفایل تعریف شده

تاکنون سه روش برای بررسی یک شاخص کیفی در بستر زمان به شرح ذیل معرفی شده اند:

۳-۲-۱. روش روی هم اندازی منحنی های کانتور

این روش توسط گهل برای یافتن ترکیب بهینه مواد سازنده داروی دیکلوفناک سدیم به کار گرفته شد . با افزایش تعداد فاکتورها و شاخصهای مورد مطالعه ، از کارآیی این روش به شدت کاسته می شود .[۲۵]

۳-۲-۲. روش حداقل سازی مجموع میانگین مربعات خطا در طی زمان

این روش توسط ترونگ و همکاران [۲۶] و نیز شین و همکاران [۲۷] معرفی گردید . در این روش ، طراح در پی یافتن مقادیر مناسب برای عوامل قابل کنترل می باشد به نحوی که مجموع میانگین مربعات خطا را در مقاطع زمانی مورد نظر به حداقل برساند :

$$Minimize \quad \sum_{q=1}^{w}\left[M(x,t_q)-T_q\right]^2+\sum_{q=1}^{w}v(x,t_q) \qquad st: x\in\Omega \qquad (۷)$$

که در این رابطه داریم :

$M(x,t_q)$: میانگین مقادیر مشاهده شده در مقطع زمانی q ام

$v(x,t_q)$: واریانس مقادیر مشاهده شده در مقطع زمانی q ام

Tq : مقدار هدف تعیین شده برای متغیر پاسخ در مقطع زمانی q ام

w : تعداد مقاطع زمانی مورد بررسی

۳-۲-۳. روش حداقل سازی مجموع هزینه های زیان کیفی در طی زمان

این روش توسط گوتلاس و چو[۲۸] معرفی گردید و هدف آن ارائه مقادیر مناسب برای عوامل قابل کنترل است به نحوی که مجموع هزینه های زیان کیفی را در مقاطع زمانی مورد نظر ، به حداقل برساند .

$$Minimize \quad \sum_{q=1}^{w}\left[\int_{LSL_q}^{USL_q}L[Y(q)].f[Y(q)]dY(q)+\int_{-\infty}^{LSL_q}NC_{q1}.f[Y(q)]dY(q)+\int_{USL_q}^{\infty}NC_{q2}.f[Y(q)]dY(q)\right] \qquad (۸)$$

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-18]

که در این رابطه داریم :

LSL_q و USL_q: به ترتیب حدود پایین و بالای مشخصه کیفی در مقطع زمانی qام

$f(y(q))$: تابع توزیع متغیر پاسخ در مقطع زمانی qام

NC_{q1} و NC_{q2}: به ترتیب هزینه خرابی ناشی از پایین تر بودن مشخصه کیفی از حد پایین و بالا تر بودن شاخص کیفی از حد بالا در مقطع زمانی qام

$L[y(q)]$: تابع فقر کیفی متغیر پاسخ در درون محدوده فنی مشخصه کیفی لیکن دور از نقطه هدف

w : تعداد مقاطع زمانی مورد بررسی

۳. تعریف مسأله

در بسیاری از مسائل طراحی استوار با دو موضوع مهم به شرح زیر مواجه می باشیم :

۱- ضرورت بررسی همزمان چندین مشخصه کیفی

۲- ضرورت بررسی رفتار مشخصه کیفی در طول زمان و مقایسه آن با پروفایل تعریف شده مبنا.

کاربرد این نوع مسائل را می توان در زمینه هایی نظیر صنایع دارو سازی ، صنایع شیمیایی، هوا و فضا و نیز هسته ای عنوان نمود . بر طبق بررسی انجام شده در ادبیات موضوع ، تاکنون روشی برای حل این نوع مسائل مطرح نشده است . روشهای ارائه شده در بخش قبل ، به دنبال یافتن پاسخهای مناسب برای بهینه سازی همزمان چندین شاخص کیفی می باشند و یا آنکه به صورت یک متغیره به بررسی بهینه سازی حول پروفایل عملکرد می پردازند . در روش پیشنهادی که در بخش بعد ارائه شده است ، هر دو موضوع اشاره شده مورد بررسی قرار گرفته است.

۴. روش پیشنهادی

در روش پیشنهادی در این تحقیق ، از تابع مطلوبیت به صورت همزمان برای بررسی چندین شاخص کیفی در چندین مقطع زمانی استفاده می شود. فرض می شود k شاخص کیفی در w مقطع زمانی مورد مطالعه قرار گیرد. در هر مقطع زمانی ، n نوع تنظیم برای عوامل قابل کنترل تعریف و در هر تنظیم نیز m بار آزمایش تکرار می گردد. روش مورد نظر شامل شش مرحله می‌باشد که پس از معرفی نمادهای استفاده شده ، مراحل مختلف به ترتیب توضیح داده می شود .برای مدلسازی مسأله ، علائم اختصاری زیر معرفی می شود:

w : تعداد مقاطع زمانی مورد مطالعه برای شاخص کیفی موردنظر

y_{iqrj}: مقدار مشاهده شده برای شاخص کیفی iام در مقطع زمانی q ام برای تنظیم r ام در تکرار j ام .

$\bar{y}_{iqr}$: میانگین مشاهدات برای شاخص کیفی i ام در مقطع زمانی q ام برای تنظیم r ام .

s^2_{iqr}: واریانس مشاهدات برای شاخص کیفی i ام در مقطع زمانی q ام برای تنظیم r ام .

T_{iq} : مقدار هدف برای شاخص کیفی i ام در مقطع زمانی q ام.

LSL_{iq} و USL_{iq} : به ترتیب حدود پایین و بالای مشخصه کیفی i ام در مقطع زمانی q ام .

$\mathbf{x}$: بردار عوامل قابل کنترل

$\mu_{iq}(x)$ و $\sigma^2_{iq}(x)$: تابع سطح برای میانگین و واریانس شاخص کیفی i ام در مقطع زمانی q ام .

$\beta_{iq(\mu)}$ و $\beta_{iq(\sigma^2)}$: بردار ضرایب مدل برای برآورد کردن تابع میانگین و واریانس شاخص کیفی i ام در مقطع زمانی q ام .

مرحله اول: طراحی و اجرای آزمایشات و انجام محاسبات مقدماتی

برای هر شاخص کیفی، در هر مقطع زمانی، n نوع تنظیم برای عوامل قابل کنترل صورت می پذیرد و در هر سلول برای هر تنظیم در هر مقطع زمانی m بار آزمایشات تکرار می شود . لذا در مجموع به تعداد $N = k.w.m.n$ آزمایش انجام می گردد. داده های مربوط به هر شاخص کیفی در جدولی مشابه جدول شماره ۱ گردآوری می شوند.

جدول ۱. نحوه جمع آوری داده ها برای شاخص کیفی زمان محور در w مقطع زمانی

شماره طرح	x	$Y(1)$	$\bar{y}_1$	s^2_1	...	$Y(w)$	$\bar{y}_w$	s^2_w
1	تنظیمات فاکتورهای قابل کنترل	$y_{111} \cdots y_{11m}$	$\bar{y}_{11}$	s^2_{11}	...	$y_{w11} \cdots y_{w1m}$	$\bar{y}_{w1}$	s^2_{w1}
2		$y_{121} \cdots y_{12m}$	$\bar{y}_{12}$	s^2_{12}	...	$y_{w21} \cdots y_{w2m}$	$\bar{y}_{w2}$	s^2_{w2}
.		...	...	...	...	...	...	...
r		$y_{1r1} \cdots y_{1rm}$	$\bar{y}_{1r}$	s^2_{1r}	...	$y_{wr1} \cdots y_{wrm}$	$\bar{y}_{wr}$	s^2_{wr}
.		...	...	...	...	...	...	...
n		$y_{1n1} \cdots y_{1nm}$	$\bar{y}_{1n}$	s^2_{1n}	...	$y_{wn1} \cdots y_{wnm}$	$\bar{y}_{wn}$	s^2_{wn}

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-18]

در جدول (۱) میانگین و واریانس مشاهدات هر سلول در ستونهای میانگین و واریانس بر اساس روابط (۹) و (۱۰) به دست می آیند:

$$\bar{y}_{qr} = \frac{\sum_{j=1}^{m} y_{qrj}}{m} \qquad (۹)$$

$$s_{qr}^2 = \frac{\sum_{j=1}^{m} (y_{qrj} - \bar{y}_{qr})^2}{m-1} \qquad (۱۰)$$

مرحله دوم: تعیین مقاطع زمانی مشترک

با توجه به یکسان نبودن مقاطع زمانی مورد بررسی همه شاخصهای کیفی ، برای دستیابی به پاسخهای رضایت بخش ، مقاطع زمانی مشترک را یافته و محاسبات در این مقاطع زمانی مشترک انجام می شود.

مرحله سوم: کاهش تعداد عوامل با حذف عوامل غیر مؤثر

در این مرحله ، عوامل مؤثر از میان مجموعه عوامل انتخاب می شود . در صورت عدم آگاهی قبلی از تأثیر گذاری برخی عوامل ، از آزمایشهای غربالی استفاده می گردد . از معمولترین این آزمایشها ، روش رگرسیون مرحله به مرحله[1] می باشد که در آن به صورت مرحله ای ، متغیرهای مؤثر بر پاسخ را انتخاب و در نهایت مؤثرترین آنها را معرفی می نمایند .

مرحله چهارم: بررسی شرط استقلال شاخصهای کیفی در هر مقطع زمانی

در این مرحله با استفاده از آزمونهای آماری مناسب ، استقلال مشخصه های کیفی از یکدیگر مورد بررسی قرار می گیرد .

مرحله پنجم: تعیین معادله سطح پاسخ برای میانگین و واریانس مشاهدات در هر مقطع زمانی

در این مرحله معادلات متناظر برای میانگین و واریانسهای شاخصهای کیفی مورد مطالعه بر اساس فاکتورهای انتخاب شده در مرحله قبل در هر مقطع زمانی تعیین می گردد . این معادلات رابطه میان میانگین و واریانس با متغیرهای قابل کنترل در مقاطع زمانی متفاوت را بیان می نماید . حالت کلی این معادلات به صورت زیر است :

$$\hat{\mu}_q(\boldsymbol{x}) = \boldsymbol{x}\hat{\beta}_{\mu q} \;,\; \hat{\beta}_{\mu q} = (\boldsymbol{x}'\boldsymbol{x})^{-1}\boldsymbol{x}'\bar{y}_q, \boldsymbol{x} = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & x_{1,k-1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \cdots & x_{n,k-1} \end{bmatrix} \;,\; \bar{y}_q = [\bar{y}_{q1}, \bar{y}_{q2}, \ldots, \bar{y}_{qn}]' \qquad (۱۱)$$

[1] *Stepwise Regression*

$$\hat{\sigma}_q^2(\boldsymbol{x}) = \boldsymbol{x}\hat{\beta}_{\sigma^2 q} \;,\; \hat{\beta}_{\sigma^2 q} = (\boldsymbol{x}'\boldsymbol{x})^{-1}\boldsymbol{x}' s_q^2, \boldsymbol{x} = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & x_{1,k-1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \cdots & x_{n,k-1} \end{bmatrix} \;,\; s_q^2 = [s_{q1}^2, s_{q2}^2, \ldots, s_{qn}^2]' \qquad (۱۲)$$

مرحله ششم: بهینه سازی مدل براساس تابع مطلوبیت

در این مرحله، در مقاطع زمانی مورد نظر برای بررسی همزمان شاخصهای کیفی ، تابع مطلوبیت برای میانگین به شرح زیر تعریف می گردد . معمولاً برای واریانس شاخص کیفی در هر مقطع زمانی از تابع مطلوبیت STB استفاده می شود . توضیح این نکته ضرورت دارد که در صورت وجود احتمال منفی شدن واریانس ، حالت NTB با حدپایین صفر درنظر گرفته می شود .

الف) حالت NTB :

$$DF(y) = \begin{cases} \left[\frac{y-LSL}{T-LSL}\right]^r , LSL < y < T \\ \left[\frac{y-USL}{T-USL}\right]^s , T < y < USL \\ 0 , y < LSL \; ; y > USL \end{cases} \qquad (۱۳)$$

ب) حالت LTB :

$$DF(y) = \begin{cases} 1 , y > y_i^* \\ \left[\frac{y-y_{i*}}{y_i^*-y_{i*}}\right]^r , y_{i*} < y < y_i^* \\ 0 , y < y_{i*} \end{cases} \qquad (۱۴)$$

پ) حالت STB :

$$DF(y) = \begin{cases} 1 , y < y_{i*} \\ \left[\frac{y_i^*-y}{y_i^*-y_{i*}}\right]^r , y_{i*} < y < y_i^* \\ 0 , y > y_i^* \end{cases} \qquad (۱۵)$$

که در روابط فوق :

$\mathbf{y}$: مقدار مشاهده شده برای مشخصه کیفی

T : مقدار هدف تعیین شده برای مشخصه کیفی با ویژگی NTB

USL : حد بالای مشخصه کیفی با ویژگی NTB

LSL : حد پایین مشخصه کیفی با ویژگی NTB

$\mathbf{y}_i^*$: نقطه مطلوب برای شاخص کیفی LTB و حد بالا برای شاخص کیفی STB

y_{i*} : نقطه مطلوب برای شاخص کیفی STB و حد پایین برای شاخص کیفی LTB

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-18]

r,s : ثابتهای مثبت ؛ارزشهای وزنی متغیرهای پاسخ

در صورتی که در w مقطع زمانی به بررسی k مشخصه کیفی پرداخته شود ، در نهایت به N=2kw شاخص مطلوبیت خواهیم رسید . برای هر مشخصه کیفی در هر مقطع زمانی ، دو شاخص مطلوبیت ، یکی برای میانگین و دیگری برای واریانس، وجود دارد. در نهایت تابع مطلوبیت کلی معرفی و سعی می شود با انتخاب مناسب و بهینه تنظیمات عوامل قابل کنترل ، مقداری عددی برای شاخص که تا حد ممکن به حد بالای خود یعنی عدد یک نزدیکتر گردد ، حاصل شود .

$$Maximize\ D = \left(\sqrt[N]{\prod_{i=1}^{N} d_i}\right) \qquad (۱۶)$$

در این رابطه ، d_i شاخص مطلوبیت برای هر یک از مشخصه های کیفی و D شاخص مطلوبیت نهایی است .

۵. مثال عددی

یکی از زمینه های اصلی کاربرد شاخصهای کیفی زمان محور در صنعت داروسازی می باشد . شاخصهای کیفی نظیر نحوه حل شدن دارو در بدن بیمار ، سرعت جذب دارو در بدن بیمار ، حفظ خواص دارو در مدت زمان مصرف و امثالهم ، نمونه هایی از شاخصهای کیفی مرتبط با صنعت دارو سازی می باشند که در طی زمان مورد پایش قرار می گیرند.

به عنوان مثال در خصوص روند جذب دارو در بدن بیمار ، چنانچه این روند بسیار سریع باشد ، موجب اختلال در تعادل شیمیایی بدن بیمار می شود و اگر بسیار کند باشد، باعث عدم کارآیی مناسب دارو خواهد شد .

در این تحقیق، از مثال عملی ارائه شده در مقاله شین و همکاران[۲۶] استفاده شده است که هدف آن به دست آوردن مقادیر بهینه برای ۱۰ فاکتور موثر بر کیفیت قرصهای ساخته شده با ماهیت ساختاری متمایل به جذب آب می باشد . دو پارامتر دیگر نیز در این مثال وجود دارند که دارای مقدار ثابت می باشند.

مرحله اول) طراحی و اجرای آزمایشات و انجام محاسبات مقدماتی:

در ۲۱ آزمایش طراحی شده با حداقل تعداد آزمایشات ، بیشترین اطلاعات ممکن استخراج گردیده است . مقادیر قابل دسترسی برای فاکتورها در جدول ۱ ضمیمه ارائه شده است .

با توجه به مقادیر اختصاص یافته به فاکتورهای مختلف، می توان ساده سازی خطی زیر را انجام داد:

برای فاکتور x_1 داریم:

$$x_{1new} = \frac{x_1 - 93.71}{7.03} \qquad (۱۷)$$

برای فاکتورهای x_2 تا x_{10} داریم:

$$x_{inew} = \frac{x_i}{7.03} \qquad (۱۸)$$

با اعمال ساده سازیهای ارائه شده و حذف دو ستون اول مقادیر ثابت در جدول شماره ۱ ضمیمه ، جدول شماره ۲ حاصل می شود که در آن مقادیر کدگذاری شده اند.

در این مثال به بررسی همزمان دو شاخص کیفی موثر زیر پرداخته شده است :

۱ – درصد حل شوندگی دارو : که عبارت از مقداری از دارو است که به مرور زمان به حالت ژلاتینی در می آید . این شاخص دارای ویژگی NTB می باشد .

۲ – درصد آزاد شدن دارو در بدن بیمار : که عبارت از نرخ آزاد سازی دارو در بدن بیمار می باشد . این شاخص دارای خاصیت NTB می باشد .

شاخص کیفی اول (y_1) در هشت مقطع زمانی مورد مطالعه قرار می گیرد . در هر مقطع زمانی و در هر تنظیم ، چهار بار آزمایش تکرار می شود و میانگین و واریانس در هر مقطع زمانی محاسبه می گردد . نتایج در جدولهای ۲ و ۳ ضمیمه آورده شده است .

شاخص کیفی دوم (y_2) در یازده مقطع زمانی مورد مطالعه قرار می گیرد. در اینجا نیز میانگین و واریانس مربوط به چهار بار تکرار آزمایش در هر مقطع زمان و با هر تنظیم محاسبه می شود و نتایج در جدولهای ۴ و ۵ ضمیمه نشان داده شده است .

مرحله دوم) تعیین مقاطع زمانی مشترک:

با توجه به جداول موجود در ضمیمه ، می توان به صورت همزمان و مشترک ، هر دو شاخص کیفی را در شش مقطع زمانی ، مورد مطالعه و بررسی قرار داد .

مرحله سوم) کاستن از تعداد متغیرها با حذف متغیرهای غیر مؤثر:

با استفاده از روش رگرسیون مرحله به مرحله ، مشخص می شود که برای شاخص کیفی اول ، متغیرهای x_1 ، x_2 ، x_3 ، x_4 ، x_8 و x_9 دارای تأثیر معنادار بوده و برای شاخص کیفی دوم ، متغیرهای x_1 ، x_3 ، x_7 ، x_8 و x_{10} مؤثر می باشند . لذا در مجموع از ۱۰ متغیر موجود، می توان دو متغیر x_5 و x_6 را از محاسبات خارج نمود.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-18]

جدول ۲. مقادیر مختلف فاکتورهای به کار رفته در آزمایشها به صورت کدشده

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۰	۰	۰
۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۱	۱	۱
۳	۰	۰	۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴	۱	۱	۱	۱۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۵	۰	۰	۰	۰	۰	۲۰	۰	۰	۰	۰
۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۰
۷	۱	۱	۱	۱	۱	۱۱	۱	۱	۱	۱
۸	۱	۱	۱۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۹	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
۱۰	۱	۱	۱	۱	۱۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۱	۱	۱	۱
۱۲	۰	۰	۰	۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۳	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۱	۱
۱۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۰	۰
۱۵	۱۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۶	۰	۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۷	۱	۱۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۱۸	۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۰	۰	۰	۰
۲۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱۱
۲۱	۰	۰	۰	۰	۲۰	۰	۰	۰	۰	۰

مرحله چهارم) بررسی شرط استقلال شاخصهای کیفی

به منظور پیاده سازی مدل موردنظر، می بایست از استقلال شاخصهای کیفی اطمینان حاصل نمود . به این منظور از شاخص وابستگی پیرسون[1] و یا مقدار P[2] استفاده می شود . در این تحقیق از شاخص پیرسون استفاده شده است و بر اساس آن، وابستگی معناداری بین شاخصهای کیفی در مقاطع زمانی مختلف وجود ندارد.

مرحله پنجم) تهیه معادله سطح پاسخ برای میانگین و واریانس مشاهدات ناشی از هر شاخص کیفی در هر مقطع زمانی: در این مرحله معادلات سطح پاسخ مربوطه به دست می آید؛ که عبارتند از :

$$\mu_{1(0.5\hbar)} = 37.7068 + 0.2531x_1 + 0.2876x_2 - 0.5749x_3 - 0.0046x_4 + 0.1749x_8 + 0.0319x_9 - 0.009x_1^2 - 0.0017x_2^2 + 0.0021x_3^2 - 0.0003x_4^2 - 0.0005x_8^2 - 0.0005x_9^2 - 0.0041x_1x_2$$

$$\mu_{1(1\hbar)} = 50.1611 + 1.2094x_1 + 1.1439x_2 - 0.9416x_3 - 0.7726x_4 + 0.2877x_8 - 0.0595x_9 - 0.0043x_1^2 - 0.0046x_2^2 + 0.0035x_3^2 + 0.003x_4^2 - 0.0012x_8^2 - 0.0002x_9^2 - 0.0278x_1x_2$$

$$\mu_{1(1.5\hbar)} = 60.4059 + 0.5959x_1 + 0.4731x_2 - 0.3286x_3 - 0.3219x_4 + 0.2225x_8 - 0.0575x_9 - 0.0022x_1^2 - 0.0021x_2^2 + 0.0007x_3^2 + 0.0012x_4^2 - 0.0007x_8^2 - 0.0001x_9^2 - 0.0139x_1x_2$$

$$\mu_{1(2\hbar)} = 73.4726 + 0.2595x_1 + 0.3057x_2 - 0.4893x_3 - 0.1706x_4 + 0.1768x_8 + 0.0088x_9 - 0.0012x_1^2 - 0.0019x_2^2 + 0.0013x_3^2 + 0.0005x_4^2 - 0.0006x_8^2 - 0.0005x_9^2 - 0.0028x_1x_2$$

[1] *Pearson Correlation*
[2] *P-Value*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-18]

$$\mu_{1(3h)} = 82.3886 + 0.6011x_1 + 0.7165x_2 - 0.3384x_3 - 0.5991x_4 + 0.0374x_8 + 0.0815x_9 - 0.0022x_1^2 - 0.0031x_2^2 + 0.0004x_3^2 + 0.0026x_4^2 - 0.00008x_8^2 - 0.0006x_9^2 - 0.0146x_1x_2$$

$$\mu_{1(4h)} = 84.0472 + 1.0841x_1 + 1.2745x_2 - 0.5452x_3 - 0.8323x_4 + 0.0261x_8 + 0.0586x_9 - 0.0038x_1^2 - 0.0051x_2^2 + 0.0016x_3^2 + 0.0037x_4^2 - 0.0001x_8^2 - 0.0005x_9^2 - 0.0271x_1x_2$$

$$V_{1(0.5h)} = -0.8259 + 0.1475x_1 + 0.1476x_2 + 0.0095x_3 + 0.0178x_4 - 0.0325x_8 + 0.0096x_9 - 0.0004x_1^2 - 0.0004x_2^2 - 0.0001x_3^2 - 0.0001x_4^2 + 0.0002x_8^2 - 0.00003x_9^2 - 0.0055x_1x_2$$

$$V_{1(1h)} = 2.2447 - 0.0221x_1 + 0.0075x_2 + 0.0528x_3 + 0.0139x_4 - 0.0375x_8 - 0.019x_9 - 0.00007x_1^2 - 0.000005x_2^2 - 0.0002x_3^2 - 0.00008x_4^2 + 0.0001x_8^2 + 0.0001x_9^2 - 0.0001x_1x_2$$

$$V_{1(1.5h)} = 2.6865 - 0.0767x_1 - 0.0039x_2 - 0.0379x_3 + 0.0704x_4 + 0.0091x_8 - 0.0014x_9 + 0.0003x_1^2 - 0.00007x_2^2 + 0.0002x_3^2 - 0.0003x_4^2 - 0.00007x_8^2 + 0.00001x_9^2 + 0.0015x_1x_2$$

$$V_{1(2h)} = 1.3425 - 0.0483x_1 - 0.0009x_2 + 0.0449x_3 + 0.0587x_4 - 0.0319x_8 - 0.0137x_9 + 0.0002x_1^2 - 0.00005x_2^2 - 0.0001x_3^2 - 0.0002x_4^2 + 0.0001x_8^2 + 0.0001x_9^2 + 0.0007x_1x_2$$

$$V_{1(3h)} = 1.9185 - 0.1117x_1 - 0.1178x_2 + 0.064x_3 + 0.0203x_4 + 0.0175x_8 - 0.0029x_9 + 0.0003x_1^2 + 0.0004x_2^2 - 0.0003x_3^2 - 0.00005x_4^2 - 0.00007x_8^2 + 0.00002x_9^2 - 0.0033x_1x_2$$

$$V_{1(4h)} = 2.5289 - 0.1428x_1 - 0.1169x_2 + 0.0685x_3 + 0.0262x_4 + 0.0020x_8 - 0.0098x_9 + 0.0005x_1^2 + 0.0004x_2^2 - 0.0003x_3^2 - 0.0001x_4^2 - 0.0002x_8^2 + 0.0001x_9^2 + 0.0036x_1x_2$$

$$\mu_{2(0.5h)} = 4.8442 - 0.039x_1 + 0.0229x_3 - 0.0056x_7 - 0.0046x_8 - 0.0015x_{10} + 0.0001x_1^2 - 0.0001x_3^2 + 0.0001x_7^2 + 0.0002x_8^2 + 0.00003x_{10}^2 + 0.0006x_1x_3$$

$$\mu_{2(1h)} = 7.6442 - 0.0274x_1 + 0.0149x_3 - 0.0104x_7 + 0.0169x_8 - 0.0137x_{10} + 0.0001x_1^2 + 0.000001x_3^2 + 0.0001x_7^2 + 0.0002x_8^2 + 0.0001x_{10}^2 + 0.0004x_1x_3$$

$$\mu_{2(1.5h)} = 7.2277 + 0.1086x_1 + 0.01794x_3 - 0.0292x_7 + 0.0332x_8 - 0.0346x_{10} - 0.0003x_1^2 - 0.0005x_3^2 + 0.0003x_7^2 + 0.0003x_8^2 + 0.0002x_{10}^2 - 0.0044x_1x_3$$

$$\mu_{2(2h)} = 8.6114 + 0.1652x_1 + 0.2483x_3 - 0.0744x_7 + 0.0738x_8 - 0.0498x_{10} - 0.0005x_1^2 - 0.0007x_3^2 + 0.0006x_7^2 + 0.0002x_8^2 + 0.0003x_{10}^2 - 0.0063x_1x_3$$

$$\mu_{2(3h)} = 12.4283 + 0.2065x_1 + 0.3085x_3 - 0.0898x_7 + 0.0886x_8 - 0.0492x_{10} - 0.0006x_1^2 - 0.0008x_3^2 + 0.0007x_7^2 + 0.0003x_8^2 + 0.0004x_{10}^2 - 0.0081x_1x_3$$

$$\mu_{2(4h)} = 16.4171 + 0.2866x_1 + 0.3884x_3 - 0.1103x_7 + 0.1263x_8 - 0.0698x_{10} - 0.0008x_1^2 - 0.001x_3^2 + 0.0009x_7^2 + 0.0003x_8^2 + 0.0005x_{10}^2 - 0.0109x_1x_3$$

$$V_{2(0.5h)} = 0.7102 - 0.0078x_1 + 0.0001x_3 - 0.0055x_7 + 0.006x_8 - 0.0061x_{10} + 0.00003x_1^2 + 0.000006x_3^2 + 0.00003x_7^2 - 0.00002x_8^2 + 0.00004x_{10}^2 - 0.00003x_1x_3$$

$$V_{2(1h)} = 1.1026 - 0.0411x_1 - 0.0269x_3 - 0.0023x_7 + 0.0211x_8 + 0.0058x_{10} + 0.0001x_1^2 + 0.00008x_3^2 + 0.00002x_7^2 - 0.00007x_8^2 - 0.00002x_{10}^2 + 0.0009x_1x_3$$

$$V_{2(1.5h)} = 0.2922 + 0.0206x_1 + 0.0348x_3 - 0.0306x_7 + 0.0328x_8 - 0.0039x_{10} - 0.00005x_1^2 - 0.000009x_3^2 + 0.0002x_7^2 - 0.0001x_8^2 + 0.00003x_{10}^2 - 0.0009x_1x_3$$

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-18]

$$V_{2(2h)} = 1.5823 - 0.0816x_1 - 0.0503x_3 - 0.0325x_7 + 0.0577x_8 + 0.0265x_{10} + 0.0003x_1^2 + 0.0002x_3^2 + 0.0002x_7^2 - 0.0002x_8^2 - 0.0001x_{10}^2 + 0.0017x_1x_3$$

$$V_{2(3h)} = 1.6904 - 0.0781x_1 - 0.0333x_3 - 0.0209x_7 + 0.052x_8 + 0.0327x_{10} + 0.0003x_1^2 + 0.0001x_3^2 + 0.0001x_7^2 - 0.0002x_8^2 - 0.0001x_{10}^2 + 0.0013x_1x_3$$

$$V_{2(4h)} = 3.1227 - 0.1344x_1 - 0.07441x_3 - 0.0346x_7 + 0.0608x_8 + 0.0526x_{10} + 0.0005x_1^2 + 0.0002x_3^2 + 0.0002x_7^2 - 0.0002x_8^2 - 0.0002x_{10}^2 + 0.0027x_1x_3$$

مرحله ششم) بهینه سازی مدل ارائه شده براساس تابع مطلوبیت: در این مرحله با استفاده از نرم افزار Minitab 15 ، تابع مطلوبیت کلی براساس توابع مطلوبیت میانگین‌ها و واریانسهای دو شاخص کیفی در ۶ مقطع زمانی معرفی گردید که نتایج در جداول ۳ تا ۶ ارائه شده است. جواب بهینه نیز برای هشت متغیر مؤثر در جدول ۷ آورده شده است. در نهایت، شاخص مطلوبیت کل مدل ، برابر با ۷۴,۰۷٪ برآورد گردیده است.

جدول ۳. نتایج حاصل برای میانگین شاخص کیفی اول

	$\mu_{1(0.5h)}$	$\mu_{1(1h)}$	$\mu_{1(1.5h)}$	$\mu_{1(2h)}$	$\mu_{1(3h)}$	$\mu_{1(4h)}$
مقدار به دست آمده	۴۰/۷۹۰۲	۴۷/۵۱۸۱	۵۸/۵۴۱۲	۷۱/۰۴۹	۷۷/۴۹۷۲	۸۴/۶۶۸۶
حد پایین	۳۰/۲	۳۰/۰۸۸	۴۵/۳۶۸	۵۲/۴۳۲	۶۲/۰۴	۷۰/۷۳۶
مقدار هدف	۳۷/۷۵	۴۷/۶۱	۵۷/۶۱	۶۵/۵۴	۷۷/۵۵	۸۸/۴۲
حد بالا	۴۵/۳	۵۷/۱۳۲	۶۸/۰۵۲	۷۸/۶۴۸	۹۳/۰۶	۱۰۶/۱۰۴
درصد مطلوبیت	**۵۹/۷۳٪**	**۹۹/۰۳٪**	**۹۱/۰۸٪**	**۵۷/۹۷٪**	**۹۹/۶۶٪**	**۷۸/۷۹٪**

جدول ۴. نتایج حاصل برای واریانس شاخص کیفی اول

	$\sigma^2_{1(0.5h)}$	$\sigma^2_{1(1h)}$	$\sigma^2_{1(1.5h)}$	$\sigma^2_{1(2h)}$	$\sigma^2_{1(3h)}$	$\sigma^2_{1(4h)}$
مقدار به دست آمده	۱/۵۸۷۱	۱/۱۲۴۸	۲/۱۸۳۷	۰/۸۹۰۷	۱/۱۶۱۷	۰/۷۶۴۳
حد پایین	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مقدار هدف	۱/۵	۱	۱/۳	۱	۰/۸	۰/۶
حد بالا	۳	۳	۳	۲/۵	۱/۵	۱/۵
درصد مطلوبیت	**۹۴/۱۹٪**	**۹۳/۷۶٪**	**۴۸/۰۲٪**	**۸۹/۰۷٪**	**۴۸/۳۲٪**	**۸۳/۷۵٪**

جدول ۵. نتایج حاصل برای میانگین شاخص کیفی دوم

	$\mu_{2(0.5h)}$	$\mu_{2(1h)}$	$\mu_{2(1.5h)}$	$\mu_{2(2h)}$	$\mu_{2(3h)}$	$\mu_{2(4h)}$
مقدار به دست آمده	۵/۹۶۳۹	۹/۱۵۲۴	۱۳/۶۷۵۲	۱۶/۱۴۹۱	۲۲/۴۲۰۵	۲۹/۲۵۳۷
حد پایین	۴/۸	۸/۸	۱۰/۲۴	۱۲/۸۸	۱۸/۰۸	۲۳/۸۴
مقدار هدف	۶	۱۱	۱۲/۸	۱۶/۱	۲۲/۶	۲۹/۸
حد بالا	۷/۲	۱۳/۲	۱۵/۳۶	۱۹/۳۲	۲۷/۱۲	۳۵/۷۶
درصد مطلوبیت	**۹۶/۹۹٪**	**۱۶/۰۲٪**	**۶۵/۸۱٪**	**۹۸/۴۷٪**	**۹۶/۰۳٪**	**۹۰/۸۳٪**

جدول ۶. نتایج حاصل برای واریانس شاخص کیفی دوم

	$\sigma^2_{2(0.5h)}$	$\sigma^2_{2(1h)}$	$\sigma^2_{2(1.5h)}$	$\sigma^2_{2(2h)}$	$\sigma^2_{2(3h)}$	$\sigma^2_{2(4h)}$
مقدار به دست آمده	۰/۴۶۷۹	۰/۶۳۹۶	۰/۴۹۱۵	۰/۴۰۶۳	۱/۴۸۴۵	۱/۲۲۱۴
حد پایین	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مقدار هدف	۰/۳۵	۰/۴۸	۰/۵	۰/۵	۱/۱	۱/۵
حد بالا	۰/۸	۱	۱/۵	۱/۷۵	۲/۳	۳
درصد مطلوبیت	**۷۳/۷۹٪**	**۶۹/۲۹٪**	**۹۸/۳۱٪**	**۸۱/۲۵٪**	**۶۷/۹۵٪**	**۸۱/۴۲٪**

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-18]

جدول ۷. پاسخهای بهینه برای متغیرهای موثر

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_7	x_8	x_9	x_{10}
جواب کد شده	۳/۲۳	۲/۳۹	۱/۲۱	۲/۱۷	۳/۶۴	۰/۴۰	۱/۲۱	۱۷/۱۷
جواب واقعی	۱۱۶/۴۳	۱۶/۸۰	۸/۵۲	۱۵/۲۳	۲۵/۵۶	۲/۸۴	۸/۵۲	۱۲۰/۷۲

۶. نتیجه گیری

روش ارائه شده در این مقاله ، مقادیر مناسب برای عوامل قابل کنترل را تعیین می نماید، به نحوی که مقدار چندین شاخص کیفی مورد مطالعه را در طی مقاطع زمانی مشخص به مقادیر هدف تعریف شده نزدیک سازد . مزیت این روش، سادگی و قابل فهم بودن آن برای کارشناسان رشته هایی می باشد که اطلاعات چندانی در خصوص آمار و استنباطهای آماری ندارند. همچنین دقت پاسخهای حاصل از این روش نیز در سطح مطلوبی قرار دارد . بسط این روش برای شاخصهای کیفی با خصوصیت هرچه بیشتر بهتر (LTB) و هر چه کمتر بهتر (STB) و بررسی وضعیتهای با وجود وابستگی میان مشخصه های کیفی را می توان به عنوان موضوعاتی برای مطالعات آتی مطرح نمود .

مراجع

[1] Phadke, M.S., *Quality Engineering Using Robust Design* , Prentice-hall International , 1989 .

[2]Taguchi, G., Chowdhury, S., Taguchi, S., *Taguchi's Quality Engineering Handbook* , John Wiley &sons , 2005.

[3] Park, S.H., Antony, J., *Robust Design for Quality Engineering and Six Sigma* , World Scientific , 2008

[4] Taguchi, G., Chowdhury, S., Taguchi, S., *Robust Engineering* , Mcgraw-Hill , 2000 .

[5] Arvidsson, M., Gremyr, I., *"Principles of Robust Design Methodology"*, Quality and Reliability Engineering International , 2007 , Vol. 24 , pp.23-35 .

[6] Robinson, T., Borror, C., Myers, R., *"Robust Parameter Design: a Review"*, Quality and Reliability Engineering International , 2004, Vol. 20, pp.81-101 .

[7] Myers, R., Montgomery, D.C., *Response Surface Methodology ,2th Edition* , John Wiley &sons , 2002.

[8] Derringer, G., Suich, R., "*Simultaneous Optimization of Several Response Variables*", Journal of quality technology , 1980 , Val.12 , No.4 , pp . 214 - 219 .

[9] Khuri, A., Conlon, M., *"Simultaneous Optimization of Multiple Responses Represented by Polynomial Regression Functions*", Technometrics, 1981, Vol.23, No.4, pp.363-375 .

[10] Pignatiello, J., *"Strategies for Robust Multiresponse Quality Engineering*", 1993,IIE Transactions, Vol. 25, pp. 5-15 .

[11] Mahmoud, A., Kovach, J., *"Multiresponse Optimization using Multivariate Process Capability Index"*, Quality and Reliability Engineering International , 2011 , Vol.27, pp.465-477 .

[12] Myers, R., Carter, W., "*Response Surface Techniques for Dual Response Systems*", 1973, Technometrics, Vol.3 , pp.301-317 .

[13] Roy , R., "*A Primer on the Taguchi Method*" , Van Nostrand Reinhold, 1990 .

[14] Su, C.T., Tong, L.I,, "*Multi-Response Robust Design by Principal Component Analysis*", Total Qual Manage , 1997 , Vol.8 , No.6 , pp.409-416 .

[15] Jeyapaul, R., et al .*," Quality Management Research by Considering Multi-Response Problems in the Taguchi Method - a Review* ", 2005,Int JAdv Manuf Technol, Vol. 26, pp.1331-1337.

[16] Tong, L.I., Su, C.T., *"Optimizing Multi-Response Problems in the Taguchi Method by Fuzzy Multiple Attribute Decision Making*" , Quality and Reliability Engineering International , 1997 , Vol.13 , pp.24-34 .

[17] Lin, JL., et al., "*Optimization of the Electrical Discharge Machining Process Based on the Taguchi Method with Fuzzy Logics*", 2000 , J Master Process Technol , Vol.102 , pp.48-55 .

[18] Zadeh, L.,"*Fuzzy Sets*" ,1965 , Info control , Vol.8 , pp.338-353 .

[19] Lin, C., et al., "*Optimization of the EDM Process Based on the Orthogonal Array with Fuzzy Logic and Gray Relational Analysis Method* " , Int J Adv Manuf Techno , 2002, Vol.19 , pp.271-277.

[20] Deng, J., *"Introduction to Grey System*" ,1989,J Grey Syst. Vol 1, pp.1-24 .

[21] Lin, JL., Tarng, YS., "*Optimization of the Multi-Response Process by the Taguchi Method with Grey Relational Analysis* , 1998, J Grey Syst , Vol.10, No.4 , pp.355-370.

[22] Su, C., Chang, H., *"Optimization of Parameter Design : an Intelligent Approach using Neural Network and Simulated Annealing"* , 2000 , Int J Syst Sci , Vol.31 , No.12 , pp.1543-1549.

[23] Hsu, C., *"Solving multi-Response Problems Through Neural Networks and Principal Component*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-18]

Analysis", , J Chin Inst Ind Eng , Vol.18, No.5 , 2001, pp.47-54 .

[24] Reddy, P., et al . *,"Unification of Robust Design and Goal Programming for Multi-Response Optimization",* Quality and Reliability Engineering International, 1997 , Vol.13,pp.371-383 .

[25] Gohel, M., Amin, A., *"Formulation Optimization of Controlled Release Diclofenac Sodium Microspheres using Factorial Design*", Gournal of controlled release , 1998 , Vol.51 , pp.115-122 .

[26] Truong, N.K.V., Shin, S.M., Choi, Y.S., Jeong, S.H., Cho, B.R., *"Robust Design with Time-oriented Responses for Regenerative Medicine Industry* " , 3rd International Conference on the Development of BME in Vietnam , 2010 .

[27] Shin, S., Choi, D.H., Truong, N.K.V., Kim, N.A., Chu, K.R., Jeong, S.H., *"Time- Oriented Experimental Design Method to Optimize Hydrophilic Matrix Formulations with Gelatin Kinetics and Drug Release Profiles*", International Journal of Pharmaceutics , 2011 , Vol . 407 , pp . 53-62 .

[28] Goethals, P.L., Cho, B.R., *"The Development of a Robust Design Methodology for Time-oriented Dynamic Quality Characteristics with a Target Profile*", Quality and Reliability Engineering International , 2010, Vol.27 , pp. 403-414 .

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-18]

ضمایم:

جدول ۱ ضمیمه: مقادیر مختلف فاکتورهای به کار رفته در آزمایشها [۲۷]

Run order	Fixed Parameters		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
	Terazosin	Mg.St	PEO	LH-11	Syloid	Ac-Di-Sol	Na-CMC	HEC	NaH_2Po_4	Citric Acid	Pharma coat603	Polyox N10
۱	۵/۹۳	۲/۷۶	۹۳/۷۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۴۰/۶	۰	۰
۲	۵/۹۳	۲/۷۶	۱۰۰/۷۴	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷۷,۳۳	۷/۰۳	۷/۰۳
۳	۵/۹۳	۲/۷۶	۹۳/۷۱	۰	۱۴۰/۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۴	۵/۹۳	۲/۷۶	۱۰۰/۷۴	۷/۰۳	۷/۰۳	۷۷/۳۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳
۵	۵/۹۳	۲/۷۶	۹۳/۷۱	۰	۰	۰	۰	۱۴۰/۶	۰	۰	۰	۰
۶	۵/۹۳	۲/۷۶	۹۳/۷۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۴۰/۶
۷	۵/۹۳	۲/۷۶	۱۰۰/۷۴	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷۷/۳۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳
۸	۵/۹۳	۲/۷۶	۱۰۰/۷۴	۷,۰۳	۷۷/۳۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳
۹	۵/۹۳	۲/۷۶	۱۰۷/۷۷	۱۴/۰۶	۱۴/۰۶	۱۴/۰۶	۱۴/۰۶	۱۴/۰۶	۱۴/۰۶	۱۴/۰۶	۱۴/۰۶	۱۴/۰۶
۱۰	۵/۹۳	۲/۷۶	۱۰۰/۷۴	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷۷/۳۳	۷,۰۳	۷,۰۳	۷,۰۳	۷,۰۳	۷,۰۳
۱۱	۵/۹۳	۲/۷۶	۱۰۰/۷۴	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷,۰۳	۷,۰۳	۷۷/۳۳	۷,۰۳	۷,۰۳	۷,۰۳
۱۲	۵/۹۳	۲/۷۶	۹۳/۷۱	۰	۰	۱۴۰/۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۳	۵/۹۳	۲/۷۶	۱۰۰/۷۴	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷۷/۳۳	۷,۰۳
۱۴	۵/۹۳	۲/۷۶	۹۳/۷۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۴۰/۶	۰
۱۵	۵/۹۳	۲/۷۶	۱۷۱/۰۴	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳
۱۶	۵/۹۳	۲/۷۶	۹۳/۷۱	۱۴۰/۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۷	۵/۹۳	۲/۷۶	۱۰۰/۷۴	۷۷/۳۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳
۱۸	۵/۹۳	۲/۷۶	۲۳۴/۳۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۱۹	۵/۹۳	۲/۷۶	۹۳/۷۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱۴۰/۶	۰	۰	۰
۲۰	۵/۹۳	۲/۷۶	۱۰۰/۷۴	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷/۰۳	۷۷/۳۳
۲۱	۵/۹۳	۲/۷۶	۹۳/۷۱	۰	۰	۰	۱۴۰/۶	۰	۰	۰	۰	۰

جدول ۲ ضمیمه: میانگین حاصل از تکرارهای مربوط به شاخص کیفی اول [۲۷]

	$\bar{y}_1$ 0.5h	$\bar{y}_2$ 1h	$\bar{y}_3$ 1.5h	$\bar{y}_4$ 2h	$\bar{y}_5$ 2.5h	$\bar{y}_6$ 3h	$\bar{y}_7$ 4h	$\bar{y}_8$ 5h
۱	۴۹/۶۱	۶۲/۰۶	۷۷/۱۹	۸۴/۶۲	۸۷/۷۲	۹۱/۶۴	۹۴/۷۳	۹۶/۰۹
۲	۴۸/۴۶	۶۶/۳۵	۷۷/۲۴	۸۲/۱۲	۸۶/۱۴	۸۷/۴۰	۹۳/۵۷	۹۴/۹۷
۳	۱۴/۵۶	۲۲/۰۰	۲۷/۶۳	۳۱/۳۲	۳۶/۵۰	۳۷/۲۵	۵۴/۴۸	۶۴/۷۴
۴	۳۳/۴۱	۱۹/۳۳	۴۹/۰۴	۶۲/۱۲	۶۵/۸۴	۶۰/۲۷	۵۹/۶۹	۵۹/۸۵
۵	۳۳/۵۰	۵۳/۱۳	۶۱/۸۵	۷۰/۵۷	۷۴/۲۴	۸۳/۱۸	۸۹/۴۷	۹۵/۴۰
۶	۴۱/۱۳	۵۶/۴۸	۶۶/۶۴	۷۷/۶۱	۸۱/۰۴	۸۵/۰۲	۹۱/۶۷	۹۵/۶۷
۷	۴۰/۸۳	۵۰/۵۶	۶۹/۳۴	۷۸/۱۲	۸۱/۰۹	۸۷/۷۱	۹۴/۸۷	۹۷/۹۴
۸	۱۰/۰۴	۸/۹۰	۴۱/۴۳	۴۰/۹۴	۴۶/۹۷	۵۶/۴۳	۵۹/۹۹	۶۸/۱۶
۹	۳۷/۱۱	۵۵/۱۸	۶۳/۱۷	۷۷/۹۷	۸۲/۸۸	۹۰/۱۱	۹۶/۴۸	۹۸/۶۱
۱۰	۳۷/۴۵	۵۴/۳۴	۶۸/۰۳	۷۴/۷۸	۸۳/۳۵	۸۶/۹۰	۹۴/۸	۹۶/۲۴
۱۱	۳۴/۰۵	۴۷/۹۴	۵۸/۷۳	۶۴/۰۷	۷۳/۲۴	۷۷/۷۳	۸۵/۶۴	۹۲/۹۹
۱۲	۲۲/۸۲	۳۵/۴۶	۵۰/۷۸	۶۱/۴۶	۷۰/۰۳	۷۹/۱۱	۸۶/۳۵	۷۹/۱۶
۱۳	۳۴/۷۴	۴۵/۸۰	۵۸/۰۳	۶۶/۰۹	۷۵/۲۶	۸۳/۹۳	۹۰/۹۵	۹۶/۴۳
۱۴	۲۲/۸۲	۳۷/۱۶	۴۸/۸۱	۵۳/۴۳	۶۵/۳۲	۷۵/۶۹	۸۲/۷۸	۹۱/۸۵
۱۵	۸۴,۴۱	۸۷,۵۸	۳۸,۶۶	۷۶/۰۱	۸۱/۰۳	۸۴/۵۸	۹۲/۷۸	۹۶/۹۰
۱۶	۱۴/۹۹	۲۵/۵۷	۳۰/۳۰	۷۴/۴	۵۵/۵۱	۶۳/۷۷	۶۷/۷	۸۰/۳۲
۱۷	۳۵/۹۶	۴۸/۰۲	۵۵/۷۰	۷۰/۹۸	۷۸/۱۷	۸۳/۲۹	۹۳/۳۸	۹۴/۸۵
۱۸	۳۷/۴۲	۵۲/۱۸	۵۹/۸۳	۶۸/۰۹	۷۵/۲۲	۸۱/۰۱	۷۸/۵۸	۹۳/۱۰
۱۹	۴۳/۳۳	۵۸/۰۵	۶۵/۴۷	۷۱/۶۵	۸۱/۷۲	۸۸/۴	۹۱/۱۵	۹۲/۷۳
۲۰	۴۲/۲۸	۵۶/۹۱	۶۴/۴۱	۷۲/۳۸	۸۱/۶۲	۸۴/۵۳	۹۱/۵۳	۹۷/۱۱
۲۱	۳۷/۱۳	۵۶/۰۶	۶۴/۲۴	۷۶/۴۷	۸۱/۷۲	۸۷/۰۴	۹۵/۱۷	۹۸/۵۵
مقدار هدف	**۳۷/۷۵**	**۴۷/۶۱**	**۵۶/۷۱**	**۶۵/۵۴**	**۶۹/۳۲**	**۷۷/۵۵**	**۸۸/۴۲**	**۸۸/۸۱**

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-18]

جدول ۳ ضمیمه: واریانس حاصل از تکرارهای مربوط به شاخص کیفی اول [۲۷]

	s_1^2	s_2^2	s_3^2	s_4^2	s_5^2	s_6^2	s_7^2	s_8^2
	0.5h	1h	1.5h	2h	2.5h	3h	4h	5h
۱	۲/۶۷	۱/۱۴	۱/۱۹	۱/۱۴	۱/۱۳	۱/۲۸	۰/۵۳	۰/۱۱
۲	۱/۸۶	۰/۶۲	۱/۶۷	۰/۵۷	۱/۶۴	۱/۴۵	۰/۶۳	۱/۰۹
۳	۱/۱۷	۴/۲۴	۴/۵۷	۴/۷۸	۱/۸۱	۰/۸۳	۱/۸۶	۱/۳۶
۴	۳/۵۳	۲/۵۹	۴/۱۳	۴/۲۶	۲/۹۳	۲/۰۲	۱/۷۵	۲/۴۴
۵	۲/۳۸	۱/۸	۰/۶۷	۱/۴۵	۱/۶۲	۰/۶۷	۱/۱۸	۰/۴۸
۶	۱/۳۴	۱/۲۳	۲/۰۸	۰/۴۱	۰/۸۲	۱/۰۴	۰/۸۳	۰/۶۸
۷	۱/۹۸	۲/۰۴	۱/۵۱	۱/۸۴	۰/۹۰	۱/۰۱	۰/۸۱	۱/۰۳
۸	۲/۹۱	۴/۸۹	۰/۹۷	۴/۵۲	۵/۸۶	۳/۰۱	۳/۴۷	۳/۹۸
۹	۲/۲۲	۰/۶۴	۷/۶۶	۱/۸۶	۱/۳۵	۱/۷۶	۰/۴۰	۰/۲۵
۱۰	۳/۴۸	۳/۲۰	۲/۸۳	۲/۸۶	۱/۵۳	۰/۴۰	۰/۵۸	۰/۸۸
۱۱	۳/۱۶	۳/۲۴	۱/۵۲	۱/۱۵	۰/۱۱	۰/۴۷	۱/۳۱	۰/۹۶
۱۲	۲/۱۸	۱/۴۶	۱/۹۲	۲/۳۸	۱/۰۱	۲/۷۵	۱/۲۹	۰/۲۵
۱۳	۳/۱۸	۱/۸۱	۱/۸۲	۱/۴۹	۱/۶۹	۰/۷۸	۰/۸۶	۰/۷۴
۱۴	۲/۰۱	۲/۷۷	۲/۸۶	۱/۹۵	۳/۵۸	۱/۵۰	۲/۶۰	۱/۵۹
۱۵	۰/۶۰	۰/۹۰	۰/۶۰	۰/۸۰	۰/۷۰	۱/۱۰	۰/۴۰	۰/۳۰
۱۶	۲/۴۷	۳/۱۲	۱/۵۸	۰/۷۲	۱/۱۵	۱/۶۵	۰/۶۱	۲/۰۷
۱۷	۰/۸۲	۲/۶۸	۳/۳۳	۲/۵۵	۱/۹۴	۱/۱۹	۱/۱۸	۰/۴۴
۱۸	۱/۷۹	۰/۹۰	۱/۳۱	۰/۶۴	۰/۵۷	۰/۶۷	۱/۱۱	۰/۴۶
۱۹	۱/۴۰	۲/۷۵	۲/۹۹	۱/۹۲	۲/۳۹	۱/۲۴	۱/۷۷	۲/۴۸
۲۰	۲/۰۹	۰/۷۳	۱/۲۶	۱/۵۱	۱/۲۲	۱/۰۲	۰/۳۶	۰/۷۹
۲۱	۱/۰۰	۲/۸۰	۴/۵۶	۲/۱۷	۰/۵۰	۱/۰۴	۰/۹۶	۰/۴۷

جدول ۴ ضمیمه: میانگین حاصل از تکرارهای مربوط به شاخص کیفی دوم [۲۷]

	$\bar{y}_1$	$\bar{y}_2$	$\bar{y}_3$	$\bar{y}_4$	$\bar{y}_5$	$\bar{y}_6$	$\bar{y}_7$	$\bar{y}_8$	$\bar{y}_9$	$\bar{y}_{10}$	$\bar{y}_{11}$
	0.5h	1h	1.5h	2h	3h	4h	6h	8h	10h	12h	24h
۱	۱۳/۰۳	۲۱/۲۱	۲۸/۴۸	۳۵/۴۴	۴۸/۴۵	۶۰/۹۹	۷۷/۵۹	۸۸/۰۵	۹۲/۵۳	۹۵/۶۴	۱۰۳/۸۳
۲	۷/۱۷	۱۲/۶۴	۱۸/۰۳	۲۳/۷۱	۳۲/۰۰	۴۱/۵۵	۵۴/۴۴	۶۴/۵۱	۷۲/۹۰	۸۰/۷۷	۱۰۵/۰۲
۳	۷/۴۶	۱۱/۶۱	۱۵/۰۵	۱۸/۳۱	۲۵/۲۵	۳۲/۵۳	۴۵/۹۹	۵۹/۳۱	۶۸/۶۷	۷۶/۸۸	۹۸/۷۶
۴	۵/۹۱	۹/۴۰	۱۴/۸۸	۱۷/۸۸	۲۳/۷۹	۳۲/۰۲	۴۷/۳۶	۶۱/۰۹	۷۳/۴۰	۸۳/۸۰	۱۰۴/۴۴
۵	۳/۹۴	۸/۱۲	۸/۱۲	۹/۶۶	۱۳/۷۰	۱۹/۳۱	۲۸/۲۳	۳۸/۳۴	۴۹/۹۸	۶۰/۶۸	۱۰۷/۴۸
۶	۵/۶۰	۹/۲۲	۱۲/۷۲	۱۶/۱۰	۲۲/۵۲	۳۰/۰۴	۴۵/۱۶	۶۱/۷۸	۷۳/۵۵	۸۶/۴۹	۱۰۷/۷۵
۷	۴/۶۴	۷/۹۴	۹/۹۹	۱۲/۹۱	۱۷/۹۷	۲۳/۳۷	۳۴/۹۴	۴۶/۹۰	۵۸/۸۷	۷۱/۰۲	۱۰۲/۵۷
۸	۷/۲۱	۱۰/۰۸	۱۳/۱	۱۶/۰۸	۲۱/۶۰	۲۴/۱۳	۳۸/۲۴	۴۸/۹۹	۵۹/۶۰	۶۸/۶۶	۱۰۰/۶۰
۹	۴/۷۹	۷/۵۸	۱۰/۱۱	۱۳/۰۰	۱۸/۷۳	۲۵/۱۷	۳۵/۶۸	۴۷/۳۴	۵۵/۱۷	۶۶/۱۹	۱۰۴/۵۶
۱۰	۳/۶۶	۶/۴۰	۸/۶	۱۰/۹۸	۱۵/۷۳	۲۱/۵۴	۳۱/۴۴	۴۲/۵۶	۵۲/۶۷	۶۲/۴۰	۹۶/۹۱
۱۱	۴/۹۱	۸/۳۱	۱۱/۶۸	۱۳/۸۸	۱۹/۹۹	۲۵/۸۴	۳۵/۶۶	۴۵/۶۰	۵۴/۷۹	۶۴/۲۶	۹۹/۶۳
۱۲	۷/۲۹	۹/۲۶	۱۰/۵۵	۱۱/۸۴	۱۵/۷۵	۲۰/۱۱	۲۸/۲۲	۳۷/۵۵	۴۷/۲۱	۵۶/۹۸	۹۰/۳۲
۱۳	۴/۲۹	۷/۰۶	۹/۳۵	۱۲/۰۰	۱۶/۸۶	۲۲/۲۰	۳۲/۴۹	۴۳/۱۹	۵۳/۶۴	۶۳/۶۱	۹۹/۳۴
۱۴	۴/۰۵	۶/۹۸	۹/۵۲	۱۲/۲۹	۱۷/۴۸	۲۳/۴۹	۳۳/۸۳	۴۴/۳۳	۵۴/۶۹	۶۳/۶۲	۹۲/۶۲
۱۵	۳/۶۳	۶/۵۴	۸/۱۶	۱۰/۲۸	۱۴/۳۶	۱۹/۲۵	۲۷/۹۱	۳۶/۵۹	۴۴/۴۹	۵۲/۲۴	۸۸/۹۷
۱۶	۵/۰۹	۸/۴۸	۱۲/۱۳	۱۵/۳۰	۲۰/۹۹	۲۶/۶۵	۳۵/۵۸	۴۴/۰۳	۵۱/۰۳	۵۶/۹۴	۷۸/۲۶
۱۷	۴/۸۷	۷/۵۵	۱۰/۸۳	۱۳/۴۰	۱۸/۳۱	۲۲/۸۷	۳۱/۷۰	۴۰/۲۴	۴۸/۵۰	۵۵/۸۵	۹۵/۰۰
۱۸	۳/۲۹	۵/۳۲	۷/۶۲	۹/۵۸	۱۴/۱۶	۱۹/۳۹	۲۸/۱۵	۳۶/۷۰	۴۴/۱۰	۵۰/۳۸	۷۶/۸۹
۱۹	۶/۰۴	۱۰/۷۳	۱۵/۶۶	۲۱/۴۹	۳۱/۰۹	۳۸/۶۶	۵۰/۸۹	۶۲/۲۸	۷۰/۶۶	۷۶/۲۳	۱۰۰/۱۴
۲۰	۴/۹۲	۷/۷۱	۱۰/۵۵	۱۳/۰۶	۱۸/۷۴	۲۴/۵۷	۳۷/۱۱	۴۹/۴۸	۶۱/۳۴	۷۰/۶۰	۱۰۵/۷۲
۲۱	۲/۹۲	۴/۸۲	۶/۳۴	۸/۸۱	۱۳/۳۵	۱۸/۰۶	۲۸/۱۵	۳۹/۴۹	۴۹/۵۹	۶۰/۴۸	۱۰۰/۱۵
مقدار هدف	**۶/۰۰**	**۱۱/۰۰**	**۱۲/۸**	**۱۶/۱**	**۲۲/۶۰**	**۲۹/۸۰**	**۴۳/۵**	**۵۱/۴**	**۶۰/۳۰**	**۶۸/۵۰**	**۸۲/۳۰**

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-18]

جدول ۵ ضمیمه: واریانس حاصل از تکرارهای مربوط به شاخص کیفی دوم [۲۷]

	s_1^2 0.5h	s_2^2 1h	s_3^2 1.5h	s_4^2 2h	s_5^2 3h	s_6^2 4h	s_7^2 6h	s_8^2 8h	s_9^2 10h	s_{10}^2 12h	s_{11}^2 24h
۱	۰/۹۰	۱/۶۹	۱/۹۰	۲/۵۳	۴/۰۶	۵/۱۸	۶/۹۵	۶/۴۳	۶/۶۷	۶/۶۵	۶/۸۵
۲	۰/۷۹	۱/۷۴	۲/۵۷	۳/۴۹	۴/۱۷	۵/۱۴	۶/۷۹	۷/۴۰	۷/۸۸	۸/۸۳	۳/۹۵
۳	۰/۸۰	۰/۶۵	۱/۶۲	۱/۳۵	۱/۵۷	۲/۶۹	۲/۹۵	۳/۸۳	۵/۱۲	۴/۸۷	۳/۴۰
۴	۱/۰۱	۱/۳۵	۱/۸۳	۱/۹۰	۲/۲۱	۲/۲۶	۲/۷۷	۴/۴۹	۵/۴۴	۵/۴۹	۰/۷۲
۵	۰/۴۱	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۱۸	۱/۱۵	۱/۸۰	۲/۰۹	۲/۶۹	۴/۰۳	۴/۴۵	۴/۹۹
۶	۰/۹۳	۱/۰۲	۱/۴۲	۱/۳۸	۲/۳۷	۲/۸۵	۵/۰۸	۹/۰۷	۸/۸۰	۱۰/۴۱	۰/۵۷
۷	۰/۲۷	۰/۶۴	۰/۸۳	۰/۵۰	۱/۴۸	۱/۸۵	۲/۹۹	۵/۶۳	۷/۱۷	۸/۷۲	۳/۹۸
۸	۰/۵۰	۰/۸۹	۱/۲۱	۱/۵۴	۲/۰۴	۳/۱۱	۵/۳۴	۷/۵۵	۸/۹۰	۹/۸۰	۳/۰۴
۹	۰/۳۳	۰/۵۴	۰/۵۲	۰/۱۸	۱/۱۲	۱/۰۳	۲/۳۰	۳/۸۲	۲/۰۱	۴/۵۵	۰/۹۹
۱۰	۰/۴۷	۰/۲۵	۱/۰۸	۰/۷۹	۱/۳۵	۲/۴۶	۴/۰۵	۵/۵۷	۶/۷۸	۸/۰۵	۴/۶۱
۱۱	۰/۳۲	۰/۷۶	۰/۱۴	۰/۱۴	۱/۲۲	۱/۴۸	۲/۰۵	۳/۱۳	۳/۶۷	۴/۱۳	۱/۸۸
۱۲	۰/۵۶	۰/۳۹	۰/۲۷	۰/۳۴	۰/۶۸	۰/۵۴	۱/۲۲	۲/۱۵	۳/۴۰	۴/۹۲	۴/۷۳
۱۳	۰/۳۹	۰/۷۹	۰/۵۵	۰/۷۴	۰/۹۶	۱/۹۶	۲/۹۲	۴/۴۲	۶/۰۹	۷/۲۰	۳/۰۳
۱۴	۰/۴۸	۰/۵۵	۰/۶۷	۱/۱۰	۲/۱۲	۳/۰۷	۵/۰۴	۶/۸۸	۸/۶۱	۸/۸۴	۵/۰۶
۱۵	۰/۱۰	۰/۳۰	۰/۴۰	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۸۰	۱/۲۰	۱/۵۰	۱/۷۰	۱/۸۰	۱/۴۰
۱۶	۰/۸۳	۰/۷۷	۰/۵۶	۰/۹۹	۰/۹۰	۱/۶۳	۱/۴۴	۱/۸۵	۱/۸۵	۱/۶۳	۱/۸۱
۱۷	۰/۲۱	۰/۳۶	۰/۷۰	۰/۵۳	۱/۰۸	۱/۲۲	۱/۹۸	۲/۵۹	۳/۹۴	۴/۳۵	۵/۸۹
۱۸	۰/۴۵	۰/۴۲	۰/۷۰	۱/۰۲	۱/۲۲	۲/۲۹	۳/۱۸	۳/۳۸	۴/۸۰	۴/۵۷	۷/۳۱
۱۹	۰/۷۴	۱/۲۹	۱/۵۱	۲/۳۱	۳/۱۲	۴/۵۸	۶/۸۰	۸/۲۲	۸/۷۷	۸/۹۷	۱۰/۸۲
۲۰	۰/۳۶	۰/۹۷	۱/۰۸	۱/۹۹	۲/۹۳	۴/۱۰	۷/۳۸	۱۱/۷۶	۱۴/۲۰	۱۵/۹۰	۲/۰۱
۲۱	۰/۶۳	۱/۱۲	۱/۰۴	۱/۱۶	۱/۹۰	۳/۵۰	۶/۱۵	۸/۳۸	۱۰/۶۱	۱۲/۳۴	۹/۹۱

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2024-07-18]