

کاربرد روش تاگوچی در بررسی کاهش انحراف مقادیر پارامترها

(مطالعه موردی: اسیدیته و pH نوشابه فانا از مقدار هدف در کارخانه روز نوش کرمانشاه)

آرش شاهین^۱

امیر حسین نوارچیان^۲

علیرضا مومیند^۳

چکیده

روش طراحی آزمایش‌ها به عنوان یک راهکار علمی همواره در جهت بهبود کیفیت مورد استفاده قرار گرفته است. این ابزار مشکل‌های کیفی را به صورت ریشه‌ای حذف نموده و ایجاد بهبود را به معنای واقعی کلمه عملی می‌سازد. تاگوچی، یکی از روش‌های طراحی آزمایش‌ها، به عنوان یک روش عملی و رویکرد استراتژیک برای طراحی کیفیت در محصولات و فرآیندهای تولیدی و خدماتی، کاربردهای فراوانی در زمینه‌های مختلف دارد. این روش در بسیاری از کشورهای پیشرفته کاربردهای موفقی داشته است.

این تکنیک در حل مسائل کیفی، به ویژه در بخش تولید برای بهبود عملکرد فرآیند و ایجاد بهره‌وری با کاهش محصولات معیوب و هزینه‌های دوباره کاری و تغییرات بسیار قدرتمند عمل می‌نماید.

در این مطالعه روش تاگوچی با استفاده از ابزار معیار ارزیابی کلی (OEC) به منظور برآوردن همزمان دو هدف کاهش انحراف اسیدیته و pH نوشابه فانا در شرکت روز نوش کرمانشاه اجرا شده است و از میان ۵ فاکتور E, D, C, B, A که در ابتدا به نظر می‌رسید دارای اثر و یا اثر متقابل با اهمیت می‌باشند ۴ فاکتور E, C, B, A با اهمیت شناخته شده‌اند، سپس این روش با ارائه راه حل یعنی تنظیم سه فاکتور C, B, A در سطح ۱ و فاکتور E در سطح ۲ رسیدن به اهداف کاهش انحراف اسیدیته و pH نوشابه فانا را ميسر ساخته است. به گون‌های که تنظیم این فاکتورها در سطوح بهینه (E2, C1, B1, A1)، منجر به افزایش نسبت S/N به اندازه 2/402 واحد گشته است. سهم هر فاکتور به ترتیب 0/404, 0/613, 0/832, 0/552 می‌باشد و در کل نسبت S/N را از 35/946 به 33/545 افزایش داده است.

واژگان کلیدی: طراحی آزمایش‌ها، روش تاگوچی، معیار ارزیابی کلی، اسیدیته، pH

^۱ عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

^۲ عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

^۳ کارشناس ارشد مهندسی صنایع Alireza_Moumivand@yahoo.com

مقدمه

امروزه طراحی آزمایش‌ها نقش مؤثری در بهبود فرآیند و محصولات، کاهش تغییرات و هزینه‌های کیفی دارد. این ابزار مؤثر در دنیای رقابتی امروز، به عنوان یک روش کارا ثابت شده است و اکثر شرکت‌ها و سازمان‌های موفق از آن بهره جسته و پیشرفت‌های اساسی در سطح شرکت و سازمان خود به وجود آورده‌اند. روش‌های متفاوتی به نام طراحی آزمایش‌ها وجود دارند که با توجه به شرایط و محدودیت‌ها برای اجرا در یک سازمان تولیدی و یا حتی خدماتی قابل استفاده می‌باشند.

روش تاگوچی به عنوان یکی از روش‌های طراحی آزمایش‌ها از طرفداران بیشماری برخوردار است. این روش طرفدار فلسفه کاربردی مهندسی کیفیت است و سه مرحله را در گسترش تولید یا فرآیند تولید بررسی می‌کند.

۱- طراحی سیستم ۲- طراحی پارامتر ۳- طراحی تلورانس

در طرح سیستم مهندس از اصول علمی و مهندسی برای تعیین پیکربندی پایه‌ای استفاده می‌کند.

در مرحله طراحی پارامتر، مقادیر خاص پارامترهای سیستم تعیین می‌شوند و در مرحله طراحی تلورانس و یا طرح تحمل بهترین مقادیر تحمل برای تلورانس‌ها استفاده می‌شود [۳].

آشنا شدن با فلسفه و درک درست این روش راه را برای اجرای مداوم آن هموار می‌نماید.

پیشینه روش تاگوچی :

زمانی که ژاپن کار بازسازی خود را پس از جنگ جهانی دوم آغاز کرد با کمبود شدید مواد خام، تجهیزات با کیفیت و مهندسیین ماهر روبه‌رو شد و

رقابت برای تولید محصولات با کیفیت بالا و تداوم بهبود کیفیت را تحت آن شرایط آغاز کرد. کار ابداع یک متدولوژی برای برخورد با مسأله رقابت به دکتر جنیچی تاگوچی^۴ که در آن زمان مهندس مسئول توسعه محصولات مخابراتی ویژه در آزمایشگاه‌های ارتباطات الکتریکی بود، واگذار شد. وی به کمک تحقیقاتش در سال‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ اصول طراحی اثرزدا را توسعه داد و اساس کار خود را با به کار بستن نظریه هایش در توسعه محصولات مختلف اعتبار بخشید [۲].

وی با معرفی این روش، جایزه دمینگ را در سال ۱۹۶۲ دریافت کرد. [جایزه دمینگ یکی از معروف‌ترین جایزه‌های کیفیت می‌باشد که به احترام دکتر ادوارد دمینگ^۵ شخصی که با اندیشه‌های نابش به یاری مدیران و مهندسیین و کارکنان ژاپنی، ژاپن را شکوفا نمود به سازمان‌ها و شرکت‌های موفق در زمینه کیفیت اهدا می‌گردد] [۲].

همان‌طور که گفته شد، عامل کلیدی فلسفه روش تاگوچی کاهش تغییرپذیری است. روش تاگوچی انحراف‌های ممکن از مقدار هدف را همراه با تابع زیان مدل بندی می‌کند. زیان، اشاره به هزینه‌ای است که مردم متحمل می‌شوند. وقتی مصرف‌کننده از محصولی استفاده می‌کند که مشخصه‌های کیفی آن با مشخصه‌های اسمی آن تفاوت دارد. مفهوم زیان مردمی، انحراف از آنچه است که همگان فکر می‌کنند [۲].

تابع زیان در نظر گرفته شده توسط روش تاگوچی به صورت زیر می‌باشد :

^۴ Genichi Taguchi
^۵ Edward Deming

دانش طراحی آزمایش‌های آماری از کار رونالد فیشر در سال ۱۹۲۰ سرچشمه می‌گیرد و طراحی اثرزدا از ایده‌های مختلف طراحی آزمایش آماری تا طراحی آزمایش‌ها برای کسب اطلاعات مورد اعتماد در مورد متغیرهای مربوط به تصمیم‌های مهندسی یا استفاده می‌کند و دکتر جنیچی تاگوچی که یک مشاور مدیریت کیفیت در ژاپن می‌باشد، به کمک آن در گسترش و ارتقاء فلسفه و متدولوژی بهبود پیوسته در محصول‌ها و فرآیندها کمک شایانی نموده است [۹].

دکتر تاگوچی از کاربرد طرح‌های آرایه‌های متعامد برای اختصاص فاکتورهای انتخاب شده، جانبداری می‌کند، متداول‌ترین طرح‌های آرایه‌های متعامد L_8 ، L_{16} ، L_{18} می‌باشد [۹].

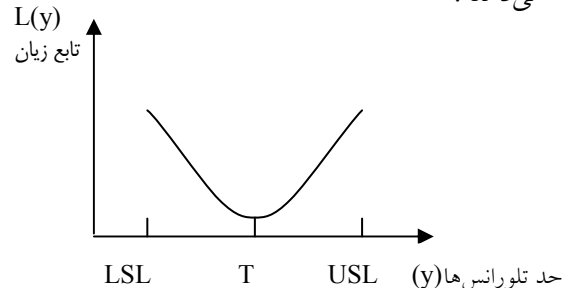
لازم به ذکر است که منظور از آرایه L_8 انجام ۸ آزمایش می‌باشد. دکتر تاگوچی ۱۸ آرایه متعامد اصلی را در جدولی به نام جدول آرایه‌های متعامد استاندارد ارائه کرده است. نام هر آرایه نشان‌دهنده تعداد سطرها و ستون‌های آن نشان‌دهنده تعداد سطوح هر یک از ستون‌ها می‌باشد. به عنوان نمونه، آرایه $L_4 (2^3)$ بیانگر آرایه‌ای است که ۴ سطر و ۳ ستون ۲ سطحی دارد [۲].

این روش متدهای آماری را در فرآیندهای مهندسی به کار می‌گیرد. استفاده از روش تاگوچی در صنایع اتومبیل و پلاستیک و در تولید نیمه هادی‌ها و صنایع فلزی و ریخته‌گری به صورت موفق گزارش شده است [۱۳].

قابل تذکر است که در مورد عدم موفقیت روش تاگوچی نیز اظهاراتی بیان شده است Antony در

$$L(y) = k(y - T)^2 \quad (1)$$

شکل ۱ به صورت ترسیمی تابع زیان را نمایش می‌دهد.



شکل ۱: تابع زیان درجه دوم روش تاگوچی [۲].

y : مشخصه کیفی یک محصول

$L(y)$: مقدار زیان در اثر فاصله گیری از مقدار هدف.

T : مقدار هدف

USL : حد بالا

LSL : حد پایین

K : ثابتی است که ضریب زیان کیفی نامیده می‌شود.

همان‌طور که در شکل ۱ مشخص می‌باشد، هرچه که از دو طرف T (مقدار اسمی)، فاصله می‌گیریم هزینه با شیب بیشتر از دو طرف افزایش می‌یابد. روش طراحی اثرزدا در طیف گسترده‌ای از مسائل قابل استفاده است این روش نقش عمده‌ای را در رشد سریع صنعت و تسخیر بازارهای جهانی در صنایعی مانند خودرو سازی، الکترونیک، شیمی و ... در ژاپن داشته است [۲].

به عنوان نمونه نپین دنسو در سال ۱۹۸۵ با انجام ۲۵۰۰ آزمایش در شرکت تویوتا کمک شایانی به این

شرکت در بهبود محصول‌های خود نمود [۱۲].

از روش تاگوچی در بخش خدمات به کاربردهای آن در بیمارستان‌ها و در مانگاه‌ها و.. با استفاده از تابع زیان تاگوچی اشاره شده است [۱۶].

فاکتور^۷: هر چیزی که به نظر می‌رسد بر نتیجه موضوع مورد آزمایش مانند محصول‌ها، خدمات‌ها و فرآیندها تاثیرگذار است به عنوان یک فاکتور در نظر گرفته می‌شود.

● سطوح فاکتورها^۸:

مقدار و یا حالتی که برای یک فاکتور تعریف می‌شود سطوح فاکتور نامیده می‌گردد [۱۴].

اثر فاکتورها و اثرهای متقابل:

اثر فاکتور:

با تغییر سطح یک عامل مانند A از یک سطح به سطح دیگر اثر عامل A بدست می‌آید.

اثر متقابل^۹ A, B:

اثرهای تغییر سطح یک عامل بر پاسخ عامل دیگر به عنوان اثر متقابل دو عامل شناخته می‌شود.

در بیشتر آزمایش‌های روش تاگوچی نمی‌خواهیم همه روابط متقابل بین فاکتورهای کنترل را تخمین بزنیم و در جلسه‌ای که برای تعیین متغیرها برگزار می‌شود معمولاً "اعضای تیم اثرهای متقابل را که از دید آن‌ها مهم می‌باشند، برای بررسی تعیین می‌کنند [۱۲]."

۳.۱. انتخاب متغیر پاسخ:

متغیر پاسخ:

متغیر پاسخ نتیجه و اندازه عملکرد برای یک آزمایش می‌باشد، بیشتر متغیرهای پاسخ به صورت کمی بیان می‌گردند. در ادامه به نوعی از متغیر پاسخ که در بسیاری از پروژه‌های صنعتی استفاده می‌شود می‌پردازیم.

سال ۱۹۹۶ از استفاده محدود و گاهی نادرست روش تاگوچی در انگلستان خبر می‌دهد [۵].

Antony و همکاران در سال‌های ۱۹۹۶، ۱۹۹۸، ۱۹۹۹ عوامل زیر را به عنوان عدم موفقیت روش تاگوچی در صنعت عنوان می‌کنند [۴، ۶، ۷].

۱. عدم فهم کامل قدرت روش های آماری مجریان روش تاگوچی [۱۱].
۲. تاکید غیر ضروری بر جنبه تحلیل آماری مسأله تحت مطالعه.

۳. عدم ارتباط کافی میان متخصصین با تجربه صنایع با دانشگاه ها و نبود ارتباط صحیح میان بخش ها و دپارتمان‌های یک شرکت.

برای حل مسائل با چندین پاسخ با کاهش عدم قطعیت از DEA^۱ برای انجام تجزیه و تحلیل‌های روش تاگوچی استفاده است [۱۰].

برای در نظر گرفتن چندین متغیر پاسخ در روش تاگوچی از شبکه‌های عصبی - فازی برای کاهش عدم قطعیت که در مواردی با تصمیم گیری‌های مهندسی همراه است استفاده شده است [۸].

برای استفاده از داده‌هایی که قبلاً در شرکت‌ها وجود دارد در اجرای روش تاگوچی با ترکیب شبکه‌های عصبی برای شرکت‌هایی که انجام آزمایش برای آن‌ها هزینه زیادی را در بردارد. روشی پیشنهاد شده است [۱۵].

۱. بررسی مراحل اجرای روش تاگوچی:

۱.۱. تشکیل تیم و شناسایی و بیان مسأله و اهداف آن [۱۴].

۲.۱. انتخاب عوامل و تعیین سطوح آنها.

^۷ Factor

^۸ Factor Levels

^۹ Interaction Effect

^۱ Data Envelopment Analysis

میانگین مربع انحراف ها^{۱۰}:

تغییرهایی که در یک گروه از داده ها وجود دارد، می تواند به تنهایی به عنوان یک متغیر پاسخ که بیانگر میزان فاصله از مقدار هدف است، در نظر گرفته شود.

به طور کلی برای یک گروه از داده های یک هدف خاص وجود دارد که با توجه به ماهیت آن ها این مقدار را می توان به نام کاراکترهای کیفی (^{۱۱}QC) به سه نوع معروف:

- ۱) مقدار اسمی-بهرتر (^{۱۲}N) ۲) مقدار کوچکتر - بهتر (^{۱۳}S) ۳) مقدار بزرگتر- بهتر (^{۱۴}B)
- تقسیم بندی نمود [۱۴]. در ادامه به کاراکتر کیفی اسمی-بهرتر می پردازیم. اسمی-بهرتر:

در این دسته از داده ها یک هدف اصلی وجود دارد و آن کاهش انحراف یک مقدار خاص می باشد. داده های نمونه برداری شده: $y_1, y_2, y_3, y_4, \dots, y_n$ کاراکتر کیفی: اسمی (N) هدف: y .

$$MSD = \frac{[(y_1 - y_0)^2 + 000 + (y_n - y_0)^2]}{n} \quad (2)$$

[۱۴].

نسبت های S/N:

با توجه به اینکه روش های متفاوتی در تشخیص فاکتورهای مؤثر بر متغیر پاسخ وجود دارد، روش

تاگوچی با تبدیل داده های تکراری به یک مقدار دیگر که بیانگر اندازه تغییرها می باشد، یک راه خاص را ارائه می دهد [۱۲].

نسبت های S/N برای مسائل ایستا:

در مسائل ایستا به دنبال یک هدف ثابت هستیم و این دقیقاً برخلاف مسائل دینامیک است که در آن پاسخ سیستم، تابعی از سطوح فاکتورهای مطلوبیت می باشد.

نسبت های S/N برای مسائل ایستا به دسته های زیر تقسیم می شوند:

۱. کوچکتر بهتر ۲. اسمی بهتر ۳. بزرگتر بهتر ۴. هدف معین ۵. درصد معیوب ۶. طبقه بندی ترتیبی ۷. پاسخ منحنی یا برداری [۲].

نسبت S/N اسمی بهتر:

در این نوع از مسائل مشخصه کیفی می تواند مقادیر پیوسته و غیرمنفی بگیرد و مقدار هدف آن غیرصفر و محدود است و وقتی که میانگین صفر است، واریانس نیز صفر می باشد. در این دسته از مسائل با میانگین و انحراف معیار سروکار داریم، فرمول های این دو مقدار در زیر نشان داده شده اند:

(۳)

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

$$\delta^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2 \quad (4)$$

برای بررسی نسبت S/N اسمی بهتر فرمول های متفاوتی ارائه شده است.

^{۱۰} Mean-Squared Deviation
^{۱۱} Quality Characteristic
^{۱۲} Nominal is beter
^{۱۳} Smaller is beter
^{۱۴} Bigger is beter

معیار ارزیابی کلی (OEC)^{۱۵}:

به کمک این ابزار تمامی اهداف را تا حد ممکن وبا توجه به میزان اهمیت آنها در نظر می‌گیریم. لازم به ذکر است که به کمک معیار ارزیابی کلی (OEC) با داشتن چندین هدف و وزن نرمالیزه شده برای هر کدام از آنها تعداد متغیرهای پاسخ در تیمار I₁ ام و نمونه I₂ ام به تعداد هدفها می‌باشد که به وسیله فرمول خاص ریاضی به یک متغیر پاسخ، برای آزمایش انجام شده تیمار I₁ در نمونه I₂ ام تبدیل می‌گردند.

به صورت کلی می‌توان برای معیار ارزیابی کلی یک فرمول طراحی نمود. اگر اهداف را با سه کاراکتر کیفی بتوان در جدول ۱ خلاصه نمود.

جدول ۱: اهداف و ویژگی‌های اهداف برای محاسبه معیار کلی ارزیابی

نمونه ۱	درصد وزنی	کاراکتر کیفی	بهترین	بدترین	معیار
N11	I1	B	Y1B	Y1W	Y1
N12	I2	N	Y2B	Y2W	Y2
N13	I3	S	Y3B	Y3W	Y3

محاسبه مقدار معیار ارزیابی کلی که ماکزیمم سازی آن مورد نظر است، استفاده نمود [۱۴]..

$$OEC = \left[\frac{(N_{11} - Y_{1W})}{(Y_{1B} - Y_{1W})} \right] \times I_1 + \left[1 - \frac{|Y_{2B} - N_{12}|}{(Y_{2B} - Y_{2W})} \right] \times I_2 + \left[1 - \frac{(N_{13} - Y_{3B})}{(Y_{3W} - Y_{3B})} \right] \times I_3$$

۱.۲. نسبت اسمی بهتر براساس میانگین مجذور مربع ها (MSD).

۲.۲. نسبت اسمی بهتر براساس واریانس.

۳.۲. نسبت اسمی بهتر براساس میانگین و واریانس (شکل سنتی).

۴.۲. نسبت اسمی بهتر براساس میانگین و واریانس (شکل ساده).

در این مطالعه از نسبت اسمی نوع اول استفاده می‌شود. بنابراین در ادامه به فرمولها و توزیع این نوع نسبت پرداخته می‌شود و سه نسبت اسمی - بهتر دیگر، در پیوست ارائه می‌گردند.

نسبت اسمی بهتر براساس میانگین مجذور مربع‌های (MSD):

(۵)

$$S/N_T = -1 \cdot \log(MSD)$$

این فرمول شرایط بهینه را براساس انحراف از هدف بدون ایجاد پیچیدگی محاسبه می‌کند.

محاسبه اثرها:

با محاسبه میانگین S/N برای هر سطح یک فاکتور یا اثر متقابل و کم کردن آنها از هم، میزان اثر هر فاکتور یا اثر متقابل تخمین زده می‌شود.

(۶)

$$\overline{S/N_1} - \overline{S/N_2} = \text{اثر هر فاکتور یا اثر متقابل}$$

نمودار اثرها و اثرهای متقابل:

با رسم اثرها در یک نمودار که سطح افقی بیانگر سطوح و سطح عمودی بیانگر مقدار متغیر پاسخ می‌باشد، درکی بهتر از اثرها با توجه به اهمیت آنها حاصل می‌شود.

^{۱۵} Overall Evaluation Criterion

(۷)

در این مرحله به انجام آزمایش بر اساس طرح ارائه شده پرداخته می‌شود.

۴.۱. انتخاب طرح آزمایش:

انتخاب طرح آزمایش شامل در نظر گرفتن حجم نمونه (تعداد تکرارها) و انتخاب ترتیب مناسب اجرا برای انجام آزمایش است.

نحوه انتخاب آرایه متعامد مناسب:

برای انتخاب طرح آزمایش باید در ابتدا درجه آزادی فاکتورها و اثرهای متقابل آنها و در کل درجه آزادی نهایی برای انتخاب طرح معین شود.

حداقل تعداد آزمایش‌ها برای تخمین اثرها = (مجموع درجه آزادی فاکتورها + مجموع درجه آزادی اثرها متقابل + ۱ درجه آزادی میانگین))

بنابراین طبق نظر دکتر تاگوچی آرایه‌هایی برای انتخاب مناسب است که تعداد سطرهاى آن حداقل برابر و یا بیشتر از درجه‌های آزادی لازم برای مسأله مورد نظرمان باشد. دکتر تاگوچی 18 آرایه متعامد اصلی را در جدولی که آرایه‌های متعامد استاندارد نام دارند، ارائه کرده است

خاصیت تعامدی آرایه:

برای هر جفت از ستون‌ها، همه‌ی ترکیب‌های سطوح این فاکتور به تعداد مساوی اتفاق می‌افتد، این خاصیت توازن نامیده می‌شود و عمود بودن را می‌رساند.

برای اختصاص درست فاکتورها و یا روابط متقابل آنها به آرایه‌های متعامد استاندارد از دو روش رایج می‌توان استفاده نمود:

۱. جدول روابط متقابل

۲. گراف خطی

۶.۱. تجزیه و تحلیل داده‌ها:

بعد از انجام مراحل ۱ تا ۵ نوبت به تحلیل نتایج و جداول و نمودارهای بدست آمده می‌رسد.

تحلیل واریانس:

تحلیل واریانس در سال 1930 توسط رونالد فیشر^{۱۶} به عنوان راهی برای تفسیر نتایج آزمایش‌هایی در زمینه کشاورزی به کار برده شد. تحلیل واریانس راهی سهل شامل فرمول‌های ریاضی و آماری می‌باشد [۱۲].

نمودار احتمال نرمال (HNPP^{۱۷}):

نمودار احتمال نرمال با رسم مقدار دقیق اثرها (اثرهای اصلی و متقابل) در راستای محور X و درصد احتمال آن در راستای محور Y به کمک فرمول (۸) رسم می‌شود. (Antony & Antony, 2001):

$$P_{i\%} = \left[\frac{(i - 0.5)}{n} \right] \times 100 \quad (8)$$

n: تعداد اثرهای تخمین زده شده

i: رتبه بندی اثرها به ترتیب نزولی

تنظیم فاکتورها در سطح بهینه:

بعد از انجام تجزیه و تحلیل لازم و یافتن فاکتورهای با اهمیت به تنظیم فاکتورها در سطوح بهینه پرداخته می‌شود.

آزمایش‌های تاییدی^{۱۸}:

^{۱۶} Ronald Fisher

^{۱۷} Half Normal Probability Plot

^{۱۸} Confirmation Experiment

۵.۱. انجام آزمایش و جمع‌آوری داده‌ها.

۲. روش پژوهش:

به جهت هماهنگی بیشتر با دیگر روش‌های طراحی آزمایش‌ها می‌توان موارد زیر را که برای اجرای کلی روش طراحی آزمایش‌ها عنوان می‌گردد، بیان نمود:

۱. شناسایی، درک و بیان مسأله و اهداف آن.

۲. انتخاب عوامل و تعیین سطوح آن‌ها.

۳. انتخاب متغیر پاسخ.

۴. انتخاب طرح آزمایش.

۵. انجام آزمایش و جمع آوری داده‌ها.

۶. تجزیه و تحلیل داده‌ها.

۷. نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها [۱].

در ادامه به توضیح روش تاگوچی پرداخته می‌شود.

جامعه آماری:

جامعه آماری عبارت است از مجموعه ای از نمونه‌ها که دارای یک ویژگی مشترک قابل اندازه‌گیری باشد. در اجرای روش طراحی آزمایش‌ها در شرکت روز نوش کرمانشاه نوشابه فانا تولیدی از تاریخ تا ۱۳۸۷/۱/۱ تا ۱۳۸۷/۳/۱ با تولید ۳۷۵۰۰۰۰۰ بطری، به عنوان جامعه آماری که بررسی میزان اسیدیته و pH به عنوان یک ویژگی قابل اندازه‌گیری میان تمامی نمونه‌ها (نوشابه فانا) مشترک می‌باشد، در نظر گرفته شده است. به این ترتیب با گرفتن نمونه از این جامعه آماری به انجام تحقیق پرداخته و نتایج حاصل به این جامعه تعمیم داده شده است.

نمونه و روش نمونه‌گیری:

در این تحقیق با توجه به توانایی شرکت در انجام آزمایش‌ها و زمان و بودجه مورد نیاز در بررسی متغیرهای پاسخ تعداد سه نمونه برای هر آزمایش

آزمایش تاییدی به آزمایشی گفته می‌شود که با در نظر گرفتن ترکیب ویژه فاکتورها و سطوح، که قبلاً با انجام یکسری محاسبه‌ها به عنوان ترکیب بهینه شناخته شده است، تضمینی بر درستی یا عدم صحت نتایج و تصمیم‌های گرفته شده باشد. چنانچه متوسط نتایج آزمایش‌های تاییدی در حدود فاصله اطمینان قرار بگیرد، تایید نتایج و در غیر این صورت رد نتایج را به همراه دارد و می‌توان گفت که یا فاکتورهای با اهمیت انتخاب نشده‌اند و یا فاکتورها در سطوح مناسب قرار نگرفته‌اند و یا محاسبه‌ها و آزمایش‌ها با خطای بالا همراه بوده‌اند [۱۲].

فاصله اطمینان در اطراف میانگین تخمینی در شرایط تیماری آزمایش‌های پیش‌بینی

شده (CI2).

$$CI_2 = \sqrt{\left(\frac{F_{\alpha, n_1, n_2} \times V_{ep}}{n_{eff}} \right)} \quad (9)$$

α : ریسک، $1 - \alpha$: اطمینان، v_e : درجه آزادی برای خطا، $n_1 : 1$

V_{ep} : واریانس خطا آمیخته $\frac{N}{1+P}$ ، n_{eff} :

P : مجموع درجه‌های آزادی به کار گرفته شده در محاسبه میانگین، N : کل آزمایش‌های انجام شده

۷.۱. ارائه پیشنهادها بر مبنای نتایج:

در نهایت با توجه به نتایج بدست آمده از تفسیرها و تحلیل آن‌ها به ارائه پیشنهادهایی در راستای رسیدن به هدف اجرایی روش طراحی آزمایش‌ها پرداخته می‌شود.

بعد از مشخص شدن فاکتورهای مؤثر جهت تسهیل به هر یک از فاکتورها یک حرف لاتین به عنوان نام اختصاص داده می‌شود.

در جدول زیر این نام‌ها معرفی شده‌اند:

جدول ۲: معرفی فاکتورها

نام اختصاصی	فاکتور
A	سختی آب تصفیه شده
B	قلیائیت آب (2P-M)
C	pH تانک تصفیه آب
D	گاز نوشابه فانا
E	بریکس نوشابه فانا

تعیین اثر متقابل فاکتورها:

بعد از مشخص شدن فاکتورهای مؤثر بر اسیدیته و pH نوشابه فانا در جلسه طوفان فکری نوبت به مشخص نمودن اثرهای متقابلی می‌رسد که از دید متخصصین و کارشناسان شرکت مهم می‌باشند کارشناسان با کمک تجربه و علم خود این اثرها را گمانه زنی نمودند.

این اثرها متقابل عبارتند از:

۱. اثر متقابل میان سختی آب تصفیه شده و

قلیائیت آب تصفیه شده. ($A \times B$)

۲. اثر متقابل میان سختی آب تصفیه شده و pH

آب تصفیه شده. ($A \times C$)

جدول ۳ به معرفی فاکتورها و سطوح اختصاص داده

شده به آن‌ها می‌پردازد.

نمونه برداری شده است. نمونه‌ها به صورت کاملاً تصادفی جمع‌آوری شده‌اند.

روش تحلیل:

به کمک نرم افزار ^{۱۹}Qualitek-4 به محاسبه مقدار معیار ارزیابی کلی پرداخته شده است.

۳. اجرا و نتایج اجرا:

روش تاگوچی:

در ادامه با در نظر گرفتن هر یک از موارد در روش پژوهش برای طراحی آزمایش‌ها، به مطالعه موردی شرکت روزنوش کرمانشاه پرداخته می‌شود به عبارت دیگر خطوط راهنمای مشخص شده در روش پژوهش طرح‌های آزمایش‌ها در مورد خاص شرکت روزنوش کرمانشاه پی‌گیری می‌شود.

۱.۳. شناسایی و بیان مسأله:

مشکل اصلی:

تغییرات اسیدیته و pH نوشابه فانا می‌تواند به تدریج منجر به خارج شدن اسیدیته و pH از محدوده استاندارد شده و محصولات این شرکت را با مشکل روبرو سازد.

بیان اهداف:

هدف اصلی از اجرای روش طراحی آزمایش‌ها کاهش تغییرات در اسیدیته و pH نوشابه و شناسایی عوامل مؤثر بر آن می‌باشد.

۲.۳. انتخاب تیمار و مواد آزمایشی:

فاکتورها:

^{۱۹} یک نرم افزار که مخصوص روش تاگوچی می‌باشد و برای اجرای راحت تر و دقیقتر محاسبه‌های روش تاگوچی به کار برده می‌شود.

جدول ۳: فاکتورهای تاثیر گذار وسطوح آنها

فاکتور	واحد	نام معرف	محدوده استاندارد	سطح اول	سطح دوم
سختی آب تصفیه شده	ppm	A	40-87	40-63.5	63.51-87
قلیائیت آب (2P-M)	-	B	2-4.7	2-3.35	3.36-4.7
pH تانک تصفیه آب	-	C	8.5-9.8	8.5-9.15	9.16-9.8
گاز نوشابه فانا	gr/100cc	D	3.5-4.5	3.5-4	4.01-4.5
بریکس نوشابه فانا	gr/100cc	E	10.7-11	10.7	11

۳.۳. متغیر پاسخ:

مقادیر خاصی را طبق نظر تیم اجرایی طراحی آزمایش‌ها مشخص نمود. در ادامه به این مهم می‌پردازیم:

همان طور که در جدول ۴ مشخص می‌باشد، مقادیر بدترین و بهترین و کاراکتر کیفی و درصد وزنی برای هر کدام از معیارها طبق نظر اعضای تیم طراحی آزمایش‌ها در جدول مشخص شده‌اند:

جدول ۴: معیار ارزیابی کلی

نمونه 1	درصدوزنی	کاراکتر کیفی	به‌ترین	بدترین	معیار
N11	55	N	150	100 یا 200	اسیدیته
N21	45	N	3000	3200 یا 2800	pH

این روش به کمک فرمول زیر یک مقدار نهایی را برای اسیدیته و pH نوشابه فانا برای هر نمونه در هر تیمار محاسبه می‌کند.

(۱۰)

$$OEC = \left[\left(1 - \left(\frac{|150 - N_{11}|}{150 - 100} \right) \right) \times 55 \right] + \left[\left(1 - \left(\frac{|3000 - N_{21}|}{3000 - 2800} \right) \right) \times 45 \right]$$

اگر تمام مقادیر (مقدار نمونه‌ها) در مقدارهای اسمی خود قرار بگیرند، بهترین مقدار که برای OEC

متغیر پاسخی که به عنوان نتیجه آزمایش معرفی می‌کنیم میزان اسیدیته و pH نوشابه فانا می‌باشد. قرار گرفتن مقدار اسیدیته و pH نوشابه فانا بر روی مقدار هدف، دو هدف اصلی شرکت می‌باشند. میزان اسیدیته نوشابه فانا که توسط سازمان استاندارد مورد تایید می‌باشد، بین 0/1 تا 0/2 پیشنهاد شده است و میزان pH نوشابه فانا بین 2/8 تا 3/2 به عنوان یک محدوده مناسب ارائه شده است.

بنابراین داریم:

$$Y_0 \text{Acidity} = \frac{(0.1 + 0.2)}{2} = 0.15$$

$$Y_0 \text{pH} = \frac{(2.8 + 3.2)}{2} = 3$$

برای اینکه اعداد بیشتر قابل توجه باشند، مقادیر را در عدد ۱۰۰۰ ضرب می‌کنیم پس داریم:

$$Y_0 \text{Acidity} = 150$$

$$Y_0 \text{pH} = 3000$$

با داشتن دو هدف، چگونه می‌توان به هر دو هدف یعنی کم‌ترین انحراف از مقدار هدف برای دو متغیر پاسخ یعنی اسیدیته و pH نوشابه فانا به صورت همزمان دسترسی یافت. همانطور که قبلاً گفته شد به کمک روش معیار ارزیابی کلی (OEC) می‌توان به چند هدف به صورت هم زمان دست یافت. در این روش در ابتدا باید در جدول معیار ارزیابی کلی

بنابراین تعداد کل درجه های آزادی برای این مورد برابر است با :

جدول ۷: درجه های آزادی فاکتورها و اثرهای متقابل

تعداد درجه های آزادی	نام معرف
1	A
1	B
1	C
1	D
1	E
1	A×B
1	A×C
7	جمع کل درجه های آزادی

بعد از مشخص شدن تعداد درجه های آزادی مسأله، حداقل تعداد آزمایشها برای تخمین اثرهای فاکتورها را مشخص می کنیم. پس حداقل تعداد آزمایشها در تخمین اثرها برابر با: $7 + 1 = 8$ آزمایش می باشد. (۷ درجه آزادی برای مجموع درجه های آزادی فاکتورها و اثرها متقابل و ۱ درجه آزادی برای میانگین.)

چون در این آزمایش حداقل تعداد آزمایشها برابر ۸ آزمایش است. بنابراین کوچکترین آرایه ای که می تواند استفاده شود باید دارای ۸ یا بیشتر از ۸ سطر باشد و تعداد کل فاکتورهایی که می خواهیم اثرهای آنها را تخمین بزنیم با احتساب اثرهای متقابل ۷ اثر می باشد، پس در جدول آرایه های متعامد استاندارد به دنبال آرایه ای می گردیم که امکان اختصاص ۷ فاکتور دو سطحی در عین حال که ۸ یا بیشتر از ۷ سطر داشته باشد، به آن وجود داشته باشد. با نگاهی به جدول آرایه استاندارد، آرایه مناسب L_8 می باشد.

با مراجعه به آرایه L_8 نیازمندی های این مسأله برطرف می شود.

حاصل می شود، عبارت داخل قدر مطلق صفر شده و مقدار OEC برابر:

$$OEC = (1 \times 55) + (1 \times 45) = 100$$

می گردد.

پس به این ترتیب مقادیر OEC که بزرگتر و یا کوچکتر از مقدار ۱۰۰ بدست بیایند به عنوان مقادیر نامطلوب شناخته می شوند. به گونه ای که اگر به مقدار ۱۰۰ برای هر OEC برسیم بهترین حالت بدست آمده است. بنابراین می توان کاراکتر کیفی نهایی (S/N) را برای OEC مقدار اسمی بهتر با هدف 100 (Target=100) در نظر گرفت.

۴.۳. انتخاب طرح آزمایش:

انتخاب طرح آزمایش شامل در نظر گرفتن تعداد سطر های یک طرح متعامد و تعداد فاکتورها است. بنابراین برای فاکتورهای مؤثر بر اسیدیته و pH نوشابه فانا داریم :

جدول ۵: درجه های آزادی فاکتورها

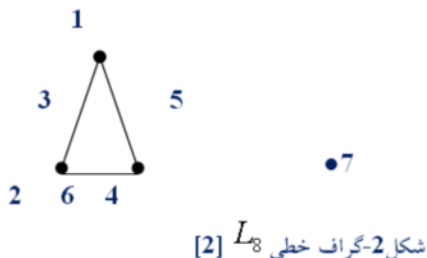
تعداد درجه های آزادی	نام معرف	تعداد سطوح	فاکتور
1	A	2	سختی آب تصفیه شده
1	B	2	قلیائیت آب (2P-M)
1	C	2	pH تانک تصفیه آب
1	D	2	گاز نوشابه فانا
1	E	2	بریکس نوشابه فانا

جدول ۶: درجه های آزادی اثرهای متقابل

تعداد درجه های آزادی	نام معرف	فاکتور
1	A×B	سختی آب تصفیه شده و قلیائیت آب تصفیه شده
1	A×C	سختی آب تصفیه شده و pH آب تصفیه شده

همچنین درجه های آزادی برای روابط متقابل در جدول ۶ محاسبه شده است

است. این گراف (شکل ۲) ونحوه اصلاح آن در شکل زیر نشان داده شده است.



بعد از مشخص شدن اختصاص های هر ستون به کمک جدول رابطه متقابل و یا گراف خطی، به معرفی جدول آرایه متعامد استاندارد سازگار با مسأله عنوان شده می پردازیم.

جدول ۹: آرایه L_8 برای مسأله شرکت روز نوش کرمانشاه

شماره آزمایش	فاکتورها						
	A	B	A×B	C	A×C	D	E
	شماره ستون						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

برای اختصاص درست فاکتورها و یا روابط متقابل آن ها به آرایه های متعامد استاندارد از دو روش رایج می توان استفاده نمود:

۱. جدول روابط متقابل

۲. گراف خطی

۱. جدول رابطه متقابل

جدول رابطه متقابل آرایه متعامد L_8 در زیر آورده

شده است:

جدول ۸: جدول رابطه متقابل آرایه متعامد L_8 [۲]

ستون ها	ستون ها						
	1	2	3	4	5	6	7
1	(1)	3	2	5	4	7	6
2		(2)	1	6	7	4	5
3			(3)	7	6	5	4
4				(4)	1	2	3
5					(5)	3	2
6						(6)	1
7							(7)

جدول روابط متقابل برای طرح آزمایش مسأله

شرکت روز نوش کرمانشاه:

با توجه به جدول روابط متقابل (۸) جدول ۱۱ تشکیل می شود.

۲. گراف خطی برای مسأله شرکت روز نوش

کرمانشاه:

گراف خطی مناسب برای مسأله مذکور گراف

شماره ۱ داده شده برای آرایه L_8 می باشد که با

استفاده از قاعده شماره ۱ اصلاح گراف ها یعنی

حذف خط برای مسأله عنوان شده، ویژه سازی شده

۵.۳. انجام آزمایش ها :

بعد از مشخص شدن آرایه متعامد استاندارد ، نوبت به انجام آزمایش ها با توجه به آرایه متعامد انتخاب شده می‌رسد . برای هر آزمایش با توجه به توانایی و منابع شرکت سه تکرار در نظر گرفته شده است . بنابراین با توجه به آرایه متعامد استاندارد که ۸ آزمایش را پیشنهاد نموده است، تعداد ۲۷ آزمایش (۳ تکرار برای ۸ آزمایش) مورد نیاز است . جدول (۱۰) به معرفی آزمایش ها با توجه به دو متغیر پاسخ یعنی اسیدیته و pH نوشابه فانا می‌پردازد .

بعد از مشخص شدن متغیر های پاسخ برای هر دو مقدار اسیدیته و pH نوشابه فانا حال با استفاده از فرمول (۱۴ معیار ارزیابی کلی) و جدول ۴ دو متغیر پاسخ به یک مقدار تبدیل می‌شود .

جدول (۱۱) مقادیر معیار ارزیابی کلی برای دو متغیر پاسخ در روش تاگوچی

نتایج	pH	اسیدیته	تکرار	آزمایش
42.5	2940	110	1	1
44.5	2900	120	2	1
45.65	2910	119	3	1
41.45	950	107	1	2
43.62	2945	110	2	2
32.62	2945	100	3	2
57.75	2910	130	1	3
47.4	2820	139	2	3
45.9	2960	109	3	3
38.25	2970	100	1	4
17.85	2850	106	2	4
19	2860	105	3	4
56	3000	110	1	5
49.25	2970	110	2	5
39.15	2930	109	3	5
42.75	2990	100	1	6
30.14	2890	109	2	6
31.5	2940	100	3	6
27	2920	100	1	7
37	2940	105	2	7
20.25	2890	100	3	7
31.1	2860	116	1	8
5.5	2800	105	2	8
42.5	2940	110	3	8

۶.۳. تجزیه و تحلیل داده ها :

نسبت S/N:

با استفاده از فرمول S/N اسمی - بهتر با هدف ۱۰۰ می‌توان مقدار های نسبت S/N را برای هر تیمار آزمایشی یافت . نسبت اسمی - بهتر براساس میانگین مجذور مربع ها معرفی شده است .

جدول ۱۲: مقادیر محاسبه شده S/N برای هر ترکیب آزمایشی

آزمایش	مقادیر S/N
1	-34.933
2	-35.701
3	-33.968
4	-37.565
5	-34.375
6	-36.318
7	-37.177
8	-37.53

حال با داشتن نسبت های S/N برای هر ۸ ترکیب آزمایشی ارائه شده در طرح به راحتی می‌توان با یافتن اثر هر فاکتور در دو سطح بالا و پایین و سپس کم کردن آن‌ها از هم اثرهای هر فاکتور یا مقدار اثر متقابل دو فاکتور را یافت در ادامه به محاسبه این اثرها پرداخته می‌شود .

جدول (۱۳) اثر و اثر متقابل فاکتورها

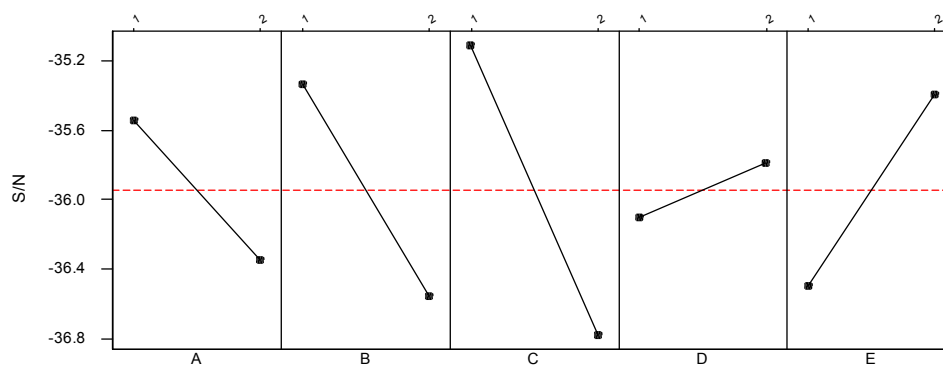
شماره	فاکتورها	سطح 1	سطح 2	سطح 1-2
1	A	-35.542	-36.35	-808
2	B	-35.332	-36.56	-1.229
3	AB	-36.335	-35.556	.779
4	C	-35.113	-36.778	-1.665
5	AC	-35.678	-36.204	-.518
6	D	-36.101	-35.791	.31
7	E	-36.498	-35.393	1.104

اثرها به ترتیب عبارتند از :

C,B,E,A,AB,AC,D

جدول ۱۰: طرح روش تاگوچی با ضرب متغیرها پاسخ در ۱۰۰۰ برای مسأله شرکت روز نوش کرمانشاه

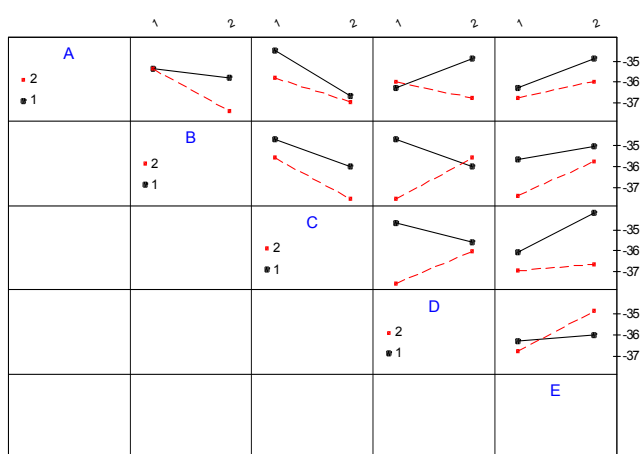
شماره آزمایش	فاکتورها							متغیر پاسخ					
	A	B	AB	C	AC	D	E	اسیدیته			pH		
	شماره ستون							تکرار 1	تکرار 2	تکرار 3	تکرار 1	تکرار 2	تکرار 3
	1	2	3	4	5	6	7						
1	1	1	1	1	1	1	1	110	120	119	2940	2900	2910
2	1	1	1	2	2	2	2	107	110	100	2950	2945	2945
3	1	2	2	1	1	2	2	130	139	109	2910	2820	2960
4	1	2	2	2	2	1	1	100	106	105	2970	2850	2860
5	2	1	2	1	2	1	2	110	110	109	3000	2970	2930
6	2	1	2	2	1	2	1	100	109	100	2990	2890	2940
7	2	2	1	1	2	2	1	100	105	100	2920	2940	2890
8	2	2	1	2	1	1	2	116	105	110	2860	2800	2940



نمودار ۱: اثرهای اصلی روش تاگوچی

نمودار ۲: اثرهای متقابل روش تاگوچی

نمودار اثرها و اثر متقابل:



حال به منظور درک بهتر نسبت به اثرها و اثرهای متقابل نمودارهای این اثرها را نمایش می‌دهیم. قابل ذکر است که اثرهای متقابل دو تایی برای تمامی اثرهای متقابل امکان پذیر نشان داده شده است. در نمودار (۱) شیب بیشتر اهمیت بیشتر و شیب کمتر اهمیت کمتر را می‌رساند. با نگاهی دقیق به نمودار اثرهای اصلی در می‌یابیم که: اثر C با اهمیت‌ترین اثر می‌باشد و اثر D به دلیل کم‌ترین شیب، کم اهمیت‌ترین اثر بوده و اثرها به ترتیب اهمیت برابر اثر A, E, B, C و D می‌باشند.

با نگاهی دقیق به نمودار ۲ در می‌یابیم که نظر کارشناسان به دلیل موازی نبودن خطوط در مورد

کمترین میانگین مربع، برآوردی تقریبی از واریانس خطا امکان پذیر می‌باشد (تحلیل واریانس آمیخته^{۲۰}). بنابراین در ادامه به محاسبه جدول تحلیل واریانس آمیخته پرداخته می‌شود.

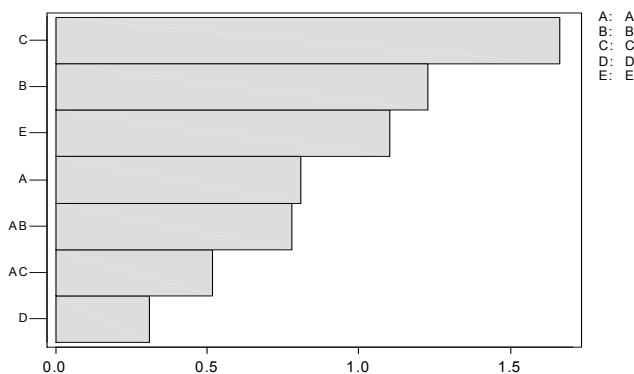
همان طور که مشخص است هیچ کدام از اثرهای متقابل پیشنهاد شده واثر فاکتور D با اهمیت نیست و آن‌ها رادر جدول تحلیل واریانس به دلیل اثر کمی که دارند به عنوان خطا در نظر گرفته ایم. گفته شد که بر طبق قانونی می‌توان آمیخته کردن (POOL کردن) را تا زمانی که مقدار درجه آزادی خطا نصف درجه آزادی کل شود، ادامه داد. حال با داشتن مقدار خطا به راحتی می‌توان مقدار F را برای هر کدام از اثرها محاسبه نمود. چون سطح اطمینان برای این مطالعه ۹۰٪ برابر $F_{0/1,1,3} = 5/54$ می‌باشد، با نگاهی به مقدار F برای هر کدام از اثرها در می‌یابیم که تنها فاکتور C دارای مقدار F بزرگتر از این مقدار می‌باشد و بقیه ی اثرها دارای F کمتر از این مقدار می‌باشند. اگر سطح اطمینان را کمتر در نظر بگیریم و این مقدار را برابر ۷۰٪ در نظر بگیریم. اثرهای B و E و نیز دارای اهمیت می‌باشند.

جدول ۱۴: تحلیل واریانس آمیخته

شماره ستون	فاکتورها	درجه آزادی	مجموع مربع ها	واریانس	نسبت F	مجموع خالص	درصد
1	A	1	1.305	1.305	2.019	0.659	4.626
2	B	1	3.015	3.015	4.664	2.369	16.624
3	AB	(1)	(1.212)				0
4	C	1	5.546	5.546	8.579	4.899	34.382
5	AC	(1)	(0.535)				0
6	D	(1)	(0.191)				0
7	E	1	2.442	2.442	3.777	1.795	12.6
	خطا	3	1.941	0.647	-		31.768
	مجموع	7	14.251				100%

وجود دو اثر متقابل AB و AC درست بوده است. اما این اثرهای متقابل با اهمیت ترین اثرهای متقابل نیستند. برای امکان مقایسه، دیگر اثرهای متقابل نیز در نمودار آورده شده است.

نمودار پارتو برای اثرها:



نمودار ۳: پارتو اثرها و اثرهای متقابل بر اساس متغیر پاسخ

S/N

در نمودار پارتو برای اثرهای عوامل مؤثر بر اسیدیته و pH نوشتابه فانا، با متغیر پاسخ نسبت S/N در روش تاگوچی، محور عمودی بیانگر اثرها و اثرهای متقابل و محور افقی بیانگر مقدار هر اثر می‌باشد. همانطور که گفته شد. ترتیب اثرها عبارت است از:

C, B, E, A, AB, AC, D

تحلیل واریانس:

در آزمایش های ماتریسی با عدم اختصاص فاکتور به برخی از ستون ها می‌توان به طور مستقیم واریانس خطا را بدست آورد اما برای بدست آوردن بیشترین آگاهی ها در مورد یک آزمایش ماتریسی همه یا اکثر ستون ها باید برای مطالعه پارامترهای محصول یا فرآیند مورد استفاده قرار بگیرند. در نتیجه هیچ یک از درجه های آزادی نباید در برآورد واریانس خطا نادیده گرفته شوند. در چنین مواقعی نمی‌توانیم به طور مستقیم واریانس خطا را برآورد کنیم، اما با در نظر گرفتن مجموع مربع های مربوط به فاکتورهایی

^{۲۰} Pooled ANOVA

۷.۳. ارائه پیشنهادها بر مبنای نتایج

شرایط بهینه:

حال با توجه به اثرها و نمودارهایی که مقدار اثرها را نمایش می‌دهد، به‌ترین ترکیب از میان ترکیب‌های موجود که در آن کم‌ترین فاصله از مقادیر هدف برای اسیدیته و pH نوشابه امکان‌پذیر است، انتخاب می‌شود.

جدول ۱۵: جدول شرایط بهینه با سهم درصدی آن‌ها

سهم	سطح	مقادیر سطوح	فاکتورها
0.404	1	40-63.5	A
0.613	1	2-3.35	B
0.832	1	8.5-9.15	C
0.552	2	11	E
2.401	سهم کلی فاکتورها در ایجاد بهبود		
-35.946	میانگین عملکرد فعلی		
-33.545	نتیجه مورد انتظار در شرایط بهینه		

در جدول ۱۸ که فاکتورها در سطوح بهینه خود که بیش‌ترین مقدار را برای S/N به همراه دارند، تنظیم شده‌اند. در ستون اول، شماره ستون اختصاصی هرکدام از فاکتورها در آرایه متعامد مشخص شده است. در ستون دوم فاکتورها (که قابل ذکر است تنها فاکتور C در سطح اطمینان 90% دارای اهمیت می‌باشد) آورده شده‌اند. در ستون سوم سطح بهینه برای هر کدام از فاکتورها و در ستون چهارم مقدار درصد سهمی که هر فاکتور با قرار گرفتن در سطح بهینه در ایجاد بهبود (در اینجا افزایش مقدار S/N) دارد، آورده شده است.

سهم درصدی:

برابر مقدار بهبودی است که با تنظیم فاکتور مورد نظر در سطح بهینه در مقدار متغیر پاسخ به وجود می‌آید. در مطالعه حاضر با تنظیم فاکتور C در سطح پایین مقدار نسبت S/N بدست آمده از جدول

برابر 35/113- می‌باشد، از طرفی مقدار میانگین S/N طبق جدول سطوح بهینه برابر 35/946 می‌باشد. با کم کردن مقدار میانگین از مقدار نسبت S/N برای زمانی که C در سطح پایین قرار دارد. درصد سهم آن فاکتور در میزان کل بهبود برابر:

$$-35.116 - (-35.946) = 0.833$$

می‌باشد. در انتهای جدول در ابتدا با جمع کل مقدار درصد سهمی که هر فاکتور با قرار گرفتن در سطح بهینه در ایجاد بهبود (در اینجا افزایش مقدار S/N) دارد، نوشته شده است. مقدار کل این بهبود برابر 2/401 می‌باشد. در ادامه مقدار متوسط نسبت S/N که از آزمایش‌ها بدست آمده برابر

$$(-35/946) \text{ و مقدار نسبت } S/N \text{ بهینه که از تنظیم}$$

فاکتورها در سطوح بهینه قابل دست‌یابی است برابر 33/545- تخمین زده شده است. در این حالت پیش‌بینی می‌شود که مقدار YOPT بر طبق فرمول برابر است با:

$$Y_0 = 100$$

$$S/N = -10 \log(MSD) = -33.545$$

یا

$$MSD = 10^{\left[\frac{(S/N)}{10} \right]} = 2262.038$$

$$MSD = \frac{[(Y_1 - Y_0)^2 + (Y_2 - Y_0)^2 + \dots]}{n}$$

$$[AVE(Y_i - Y_0)^2] = DY^2$$

$$Y_{exp} = Y_0 \pm SQR(MSD)$$

$$Y_{exp} = Y_0 \pm \sqrt{MSD}$$

پس مقدار مورد انتظار برابر است با:

$$Y_{exp} = 100 \pm 47.561$$

$$(52.439, 147.561)$$

و در شرایط بهینه:

$$S/N = -33.545$$

تخمین میانگین (در اینجا چهار فاکتور A, B, C, E) را نشان می‌دهد.

90% = سطح اطمینان

±1.496 = فاصله اطمینان

نتایج مورد انتظار در شرایط بهینه:

1.496 ± -33,545

(-35.041 - 32.049)

طبق فرمول ۱۱ که برای محاسبه فاصله اطمینان در نظر گرفته شد، فاصله اطمینان محاسبه شده است. حال با اجرای آزمایش‌های تاییدی به بررسی صحت نتایج بدست آمده می‌پردازیم:

با تنظیم فاکتورهای با اهمیت در سطح بهینه پیشنهادی، چهار آزمایش به عنوان آزمایش تاییدی انجام می‌دهیم. مقادیر به دست آمده از این آزمایش‌ها در جدول (۱۶) نشان داده شده اند:

حال به محاسبه معیار ارزیابی کلی برای ترکیب دو متغیر پاسخ و به دست آوردن یک متغیر پاسخ نهایی پرداخته می‌شود.

جدول ۱۶: متغیرهای پاسخ برای آزمایش‌های تاییدی که در ۱۰۰۰ ضرب شده اند

فاکتورها				متغیر پاسخ							
A	B	C	E	اسیدیته				pH			
سطح				تکرار 1	تکرار 2	تکرار 3	تکرار 4	تکرار 1	تکرار 2	تکرار 3	تکرار 4
1	1	1	2	114	107	127	125	2955	2962	2910	2908

جدول ۱۷: مقدار OEC برای آزمایش‌های تاییدی

فاکتورها				متغیر پاسخ			
A	B	C	E	OEC			
سطح				تکرار 1	تکرار 2	تکرار 3	تکرار 4
1	1	1	2	50.27	44.15	54.45	51.79

با توجه به فرمول ارائه شده مقدار Y یعنی مقداری که توسط معیار ارزیابی کلی محاسبه شده و از ترکیب دو متغیر پاسخ اسیدیته و pH نوشابه فانا بدست آمده، با تنظیم سطوح بهینه در فاصله: (52/439, 147/561) قرار می‌گیرد.

آزمایش‌های تاییدی^{۱۱}:

آزمایش تاییدی به آزمایشی گفته می‌شود که با در نظر گرفتن ترکیب ویژه فاکتورها و سطوح که قبلاً با انجام یکسری محاسبه‌ها به عنوان ترکیب بهینه شناخته شده است، تضمینی بر درستی نتایج و تصمیم‌های گرفته شده باشد. برای انجام آزمایش تاییدی مراحل را باید پی‌گیری نمود که این مراحل توسط نرم افزار انجام گرفته است.

فاصله اطمینان:

حال با توجه به مقدار بهینه بدست آمده نسبت S/N فاصله اطمینان را برای انجام آزمایش‌های تاییدی بدست می‌آوریم. با توجه به فرمول ۹ به محاسبه فاصله اطمینان می‌پردازیم:

$$CI_2 = \sqrt{\left(\frac{F_{a, n_1, v_e} \times V_{ep}}{n_{eff}} \right)}$$

$$F_{10\%, 1, v_e} = 5.54$$

$$n_1 = 1$$

$$v_e = 3$$

$$V_{ep} = 0.646$$

$$n_{eff} = \frac{8}{(4+1)} = 1.6$$

عدد ۸ بیانگر کل آزمایش‌های صورت گرفته می‌باشد و عدد ۴ مجموع درجه‌های آزادی فاکتورهای مؤثر بر

^{۱۱} Confirmation Experiment

مقدار MSD که انحراف از مقدار 100 را مشخص می‌کند برابر:

جدول ۱۸: مقدار MSD برای آزمایش های تاییدی

شماره آزمایش	Y1	Y2	Y3	Y4	MSD
1	50. 27	44. 15	54. 45	51. 79	2497. 83

بنابراین مقدار نسبت S/N اسمی بهتر با هدف 100 برای آزمایش های تاییدی برابر 33/976- می‌باشد. چون این مقدار در فاصله حدود اطمینان (-35/041, -32/049) برای آزمایش های تاییدی قرار گرفته، بنابراین این ترکیب به عنوان ترکیب بهینه انتخاب می‌شود.

4- نتیجه گیری:

در این پژوهش روش تاگوچی به عنوان یکی از روش های طراحی آزمایش ها به منظور کاهش اسیدیته و pH نوشابه فانا در شرکت روز نوش کرمانشاه مورد مطالعه و اجرا قرار گرفته است. هر یک از مراحل اجرایی روش به صورت کامل مورد بررسی قرار گرفته است. انجام این مطالعه منجر به نتایج قابل توجه ای در بررسی دو مشکل شرکت شده است، به گونه ای با شناخت اولیه مشکل ها که انحراف اسیدیته و pH نوشابه فانا از مقدار هدف می‌باشد و فاکتورهای مؤثر بر آن (یعنی سختی آب تصفیه شده (A)، قلیائی بودن آب (2P-M) (B) ، pH تانک تصفیه آب (C)، گاز نوشابه فانا (D) و بریکس نوشابه فانا (E)) علاوه بر اینکه فاکتورهای با اهمیت (فاکتورهایی که دارای اثر و یا اثر متقابل با اهمیت می‌باشند) شناخته شده‌اند، اطلاعات زیادی در مورد فرآیند و دیگر اثرهای متقابل بدست آمده است. برای

در نظر گرفتن همزمان دو هدف از روش معیار ارزیابی کلی (OEC) استفاده شده است. در این مطالعه از میان 5 فاکتور، چهار فاکتور E, C, B, A به عنوان فاکتورهای مؤثر بر متغیرهای پاسخ انحراف اسیدیته و pH نوشابه فانا شناسایی شده‌اند. روش تاگوچی تنظیم سه فاکتور C, B, A در سطح ۱ و فاکتور E را در سطح ۲ به عنوان راه‌حلی در برطرف کردن این مشکل ارائه می‌دهد. به گونه ای که تنظیم این فاکتورها در سطوح بهینه (E2, C1, B1, A1)، منجر به افزایش نسبت S/N به اندازه 2/402 واحد گشته است. سهم هر فاکتور به ترتیب 0/552, 0/832, 0/613, 0/404 می‌باشد و در کل نسبت S/N را از 35/946- به 33/545- افزایش یافته است..

با اجرای این روش به عنوان یک روش علمی که با انجام آزمایش های تاییدی همراه است، نتایج قابل اطمینان بوده و رسیدن به هدف کیفی به راحتی میسر شده است به گونه ای که موجب کاهش هزینه و اتلاف وقت در تنظیم بهینه سطوح شده است. در انتها باید اشاره نمود که روش تاگوچی به اندازه ای در زمینه های کیفی قدرتمند عمل می‌کند که حتی اگر مراحل اصلی این روش نیز اجرا گردد و از جزئیات روش به دلایل وجود محدودیت ها در منابع صرف نظر گردد، نتایج گسترده ای را به همراه می‌آورد. (البته اجرای دقیق و درست این روش همواره توصیه می‌گردد). لذا سازمان های تولیدی و خدماتی با بهره گیری از کارشناسان می‌توانند به اجرای مستمر و مداوم این روش، به حذف آن‌ها فلسفه بهبود مداوم را فراتر از نام و نشان های کیفی در عمل به کار ببندند.

منابع

8) Antony, J. et al., ۲۰۰۵, " Multiple response optimization using Taguchi methodology and neuro-fuzzy based model ", Journal of Manufacturing Technology Management , Vol. 17, No. 7, pp. 908-925.

9) Antony, J. and Antony, J.F., ۲۰۰۱, "Teaching the taguchi method to industrial engineers", University Press, Vol .۵۰, No.۴, PP. ۱۴۱-۱۴۹.

(۱) اخوان نیاکی، سید تقی و خنانشو، شارو کین. ۱۳۸۵، " کاربرد طراحی آزمایش ها در تعیین عوامل مؤثر در مشخصه های کیفی رگلاتور آب "، فصلنامه علمی پژوهشی شریف، شماره ۳۶، ص ۸۱-۸۵.

(۲) فادکه، مدهاواس. ۱۳۸۰، مهندسی کیفیت با استفاده از طراحی اثر زدا، ترجمه عبدالحسن خدایوندی، چاپ اول، همدان: انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، ص ۱۲۶-۱۴۰.

(۳) موننگمری، داگلاس سی. . ۱۳۸۰، طرح و تحلیل آزمایش ها، ترجمه غلامحسین شاهکار، چاپ دوم، تهران: مرکز نشر دانشگاهی ص ۴۸۸-۵۰۶.

4) Antony, J. et al. , ۱۹۹۹ , " Experimental Quality-A Strategic Approach to Achieve and Improve Quality", Kluwer Academic Publishers, Dordrecht , December, PP.۷-۱۱.

5) Antony, J., ۱۹۹۶, A strategic methodology to the use of advanced statistical quality control techniques, Ph D thesis.

6) Antony, J. et al. , ۱۹۹۶ , " Optimisation of core tube life using taguchi experimental design methodology", Journal of Quality Word (Technical Supplement) , IQA , March, PP.۳۸۶-۳۹۲.

7) Antony, J. et al., ۱۹۹۸ , "A strategic methodology to the use of advanced statistical quality improvement technique ", The TQM Magazine (The international Bi-Monthly for TQM) , Vol .۱۰, No ۳, PP.۱۶۹-۱۷۶.

