



مدل نوین تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر آنتروپی شانون و ویکور جهت شناسایی دقیق‌ترین دستگاه یونیفورمیتی



سیروان کاوه نسب^۱

^۱مسئول نماینده مشتری

شرکت لاستیک بارز کردستان

۱. چکیده

ارزیابی دستگاه‌های یونیفورمیتی نقش اساسی در تضمین دقت اندازه‌گیری و افزایش قابلیت اعتماد سامانه‌های کنترل کیفیت دارد. در این مقاله، با هدف انتخاب دقیق‌ترین گزینه، سه دستگاه یونیفورمیتی مورد بررسی قرار گرفتند. شاخص‌های کلیدی حاصل از تحلیل اندازه‌گیری (MSA) شامل درصد ضریب تغییرات (%CV)، درصد خطای ناشی از سیستم اندازه‌گیری (%GRR) و ضریب پایایی درون طبقه‌ای (ICC) استخراج و به‌عنوان معیارهای اصلی ارزیابی به کار گرفته شدند. در گام نخست، اوزان معیارها با استفاده از روش آنتروپی شانون تعیین شد و میزان اهمیت نسبی هر شاخص مشخص گردید. سپس با بهره‌گیری از این اوزان در چارچوب روش VIKOR، مقادیر شاخص‌های توافق محاسبه گردید. نتایج نشان داد که دستگاه uni3 با بهترین عملکرد از نظر دقت اندازه‌گیری، و پایایی رتبه نخست را کسب کرد، در حالی‌که دستگاه‌های uni2 و uni1 به‌ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند. بررسی شرایط توافق ویکور نیز برتری دستگاه uni3 را به طور کامل تأیید کرد. به طور کلی، یافته‌ها نشان می‌دهند که ترکیب آنتروپی شانون و روش ویکور چارچوبی علمی و کارآمد برای تحلیل و انتخاب دستگاه‌های یونیفورمیتی فراهم می‌آورد. این رویکرد نه تنها به بهینه‌سازی دقت و پایایی سامانه‌های اندازه‌گیری کمک می‌کند، بلکه در کاهش واریانس، افزایش قابلیت اعتماد نتایج آزمایشگاهی و تقویت تصمیم‌گیری مبتنی بر داده در حوزه کنترل کیفیت نیز مؤثر است.

واژه های کلیدی: دستگاه‌های یونیفورمیتی، تحلیل اندازه‌گیری(MSA)، آنتروپی شانون، ویکور (VIKOR)، SPSS، Minitab.

محور مقاله: فناوری های تولید

۲. مقدمه

یکنواختی تایر یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کنترل کیفیت در صنعت تایرسازی است و هرگونه ناهمگونی می‌تواند موجب ارتعاش، کاهش ایمنی و افت عملکرد شود. دستگاه‌های یونیفورمیتی نقش کلیدی در پایش این شاخص دارند و دقت آن‌ها مستقیماً بر پذیرش یا رد محصول اثرگذار است. خطاهای ناشی از سیستم اندازه‌گیری می‌توانند منجر به افزایش ضایعات و کاهش قابلیت اعتماد تولید شوند. ازاین‌رو، انتخاب دقیق‌ترین دستگاه اندازه‌گیری گامی اساسی در بهبود کیفیت و کاهش هزینه‌ها به شمار می‌رود. در این پژوهش با بهره‌گیری از روش آنتروپی شانون برای وزن‌دهی و مدل VIKOR برای رتبه‌بندی، چارچوبی جامع و داده‌محور جهت انتخاب دستگاه بهینه ارائه شده است.

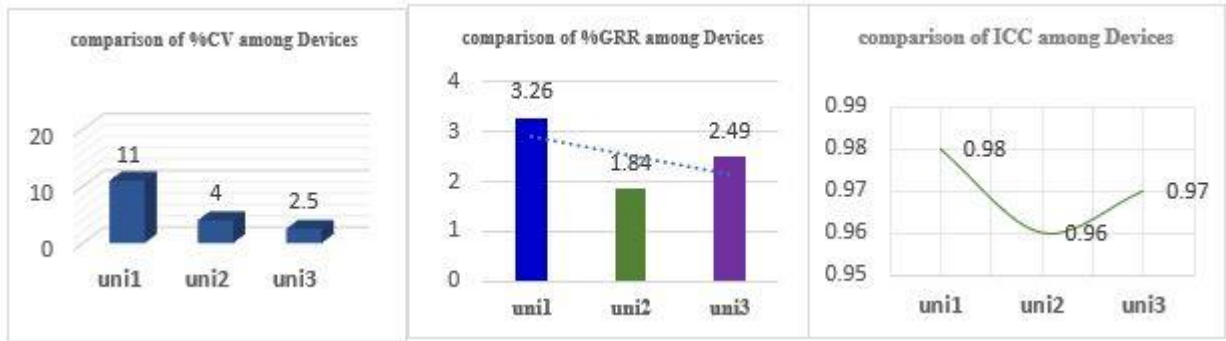
۳. بخش تجربی

در این پژوهش به‌منظور ارزیابی دقت سه دستگاه یونیفورمیتی مورد استفاده در صنعت تایرسازی، داده‌های مربوط به ۱۰ حلقه تایر انتخابی مورد آزمون قرار گرفتند. برای هر حلقه، سه مرتبه اندازه‌گیری توسط هر یک از دستگاه‌ها انجام شد و در مجموع یک پایگاه داده‌ی کامل از تکرارپذیری و همسانی نتایج به دست آمد.

با توجه به جدول ۱، سه دستگاه یونیفورمیتی از نظر شاخص‌های عملکردی مقادیر متفاوتی نشان می‌دهند. مقدار بالاتر ICC بیانگر پایداری بیشتر است، در حالی که افزایش GRR نشان دهنده خطای بیشتر دستگاه می‌باشد. همچنین شاخص CV % برای یکنواختی داده‌ها اهمیت زیادی در ارزیابی نتایج دارد. [۱]

جدول(۱):نتایج بدست آمده از محاسبات MSA

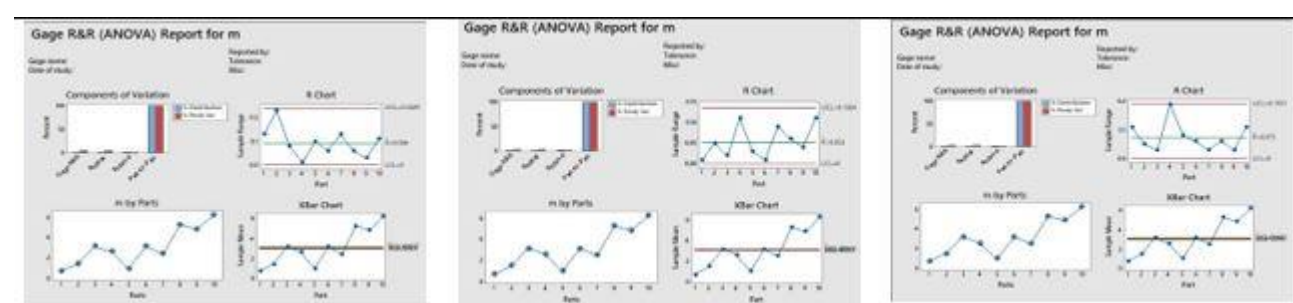
دستگاه	%GRR	ICC	%CV
uni1	3.26	0.98	11
uni2	1.84	0.96	4
uni3	2.49	0.97	2.5



نمودار(۱):مقایسه سه شاخص MSA

جدول(۲):تحلیل نتایج محاسبات MSA با نرم افزارهای Spss،Minitab

شاخص دستگاه	uni1	Uni2	Uni3
تحلیل مقایسه‌ای هر سه %CV → دقت مناسب‌ترین Uni2	3.26%	1.84% - بهترین	2.49%
تحلیل مقایسه‌ای Uni2 کمترین خطا	3.26%	1.84%	2.49%
Uni3 کمترین پراکندگی	3.26%	1.84%	2.49%
ICC	0.98	0.96	0.97



شکل(۱):نمودارهای Minitab،درصد GRR %.

Intraclass Correlation ^a	Intraclass Correlation ^a	Intraclass Correlation ^a
Single Measures	Single Measures	Single Measures
Average Measures	Average Measures	Average Measures

شکل(۲):درصد پایایی(ICC)دستگاه های یونیفورمیتی در نرم افزار spss

روش آنتروپی شانون :روش آنتروپی شانون یک روش داده‌محور برای وزن‌دهی معیارها در تصمیم‌گیری چندمعیاره است که بر اساس میزان پراکندگی و تنوع داده‌ها عمل می‌کند. این روش با شناسایی شاخص‌های واقعی و مهم، به‌ویژه در صنایع کاربردی مانند تایرسازی، انتخاب دقیق تجهیزات و دستگاه‌ها را تسهیل می‌کند:

گام اول:ابتدا ماتریس تصمیم را تشکیل می دهیم سپس در مرحله بعد ماتریس باید نرمال گردد و هر درایه نرمال شده را P_{ij} می نامیم. نرمال شدن به این صورت می باشد که درایه هر ستون را بر مجموع ستون تقسیم می کنیم[۲].

دستگاه	%GRR	ICC	%CV
uni1	0.4295	0.3367	0.6285
uni2	0.2424	0.3298	0.2285
uni3	0.3280	0.3333	0.1428

جدول(۳):گام اول انتروپی شانون

گام دوم: محاسبه آنتروپی هر شاخص: آنتروپی E_j به صورت زیر محاسبه می گردد.

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \times \ln p_{ij} \quad i=1,2,...,m$$

گام سوم: در ادامه مقدار d_j (درجه انحراف) محاسبه می شود.

$$d_j = 1 - E_j$$

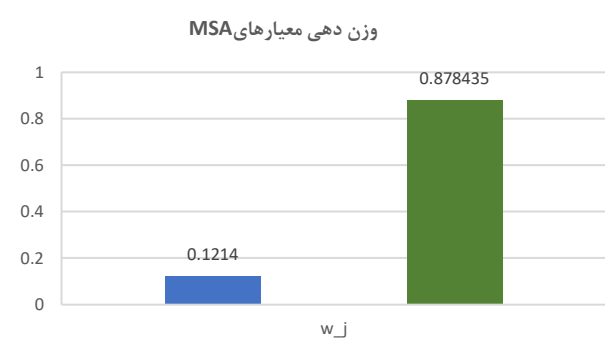
گام چهارم: در آخر مقدار W_j وزن دهی محاسبه می شود.

$$w_j = d_j / \sum d_j$$

نتایج وزن‌دهی آنتروپی نشان داد که شاخص CV % با وزن ۰.۸۷۸۴ بیشترین اهمیت را در ارزیابی سیستم اندازه‌گیری دارد و به‌عنوان معیار اصلی تصمیم‌گیری شناخته می‌شود. این توزیع وزنی بیانگر آن است که تغییرپذیری داده‌ها بیشترین تأثیر را بر کیفیت نتایج دارد.

جدول(۴):وزن دهی معیارهای MSA

	%GRR	ICC	%CV
E_j	0.9759	0.999968	0.825757
d_j	0.0240	3.22E-05	0.174243
W_j	0.1214	0.000163	0.878435



نمودار(۲):سهم هر شاخص در وزن دهی آنتروپی شانون

روش VIKOR :

یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که برای انتخاب بهترین گزینه از میان چند آلترناتیو، بر اساس معیارهای متعارض به کار می‌رود. این روش بر مبنای شاخص نزدیکی به راه‌حل ایده‌آل عمل می‌کند و با محاسبه‌ی سه معیار اصلی S و R و Q، گزینه‌ها را رتبه‌بندی می‌کند. به بیان ساده، این روش گزینه‌ای را پیشنهاد می‌دهد که بهترین تعادل را بین دقت، ثبات و کیفیت کلی ایجاد کند.[۳]

S:میانگین فاصله از بهترین حالت‌ها (تصویر کلی عملکرد)

R:بیشترین فاصله از بهترین حالت (ضعیف‌ترین شاخص)

Q:شاخص نهایی توافق برای رتبه‌بندی

تبدیل شاخص‌ها به معیارهای VIKOR:هر شاخص MSA به یک معیار تبدیل می شود.باید برای هر یک از این معیارها باید مشخص کنید که هرچه کمتر بهتر است یا هرچه بیشتر بهتر.

%GRR:هر چی کمتر بهتر(هزینه)

CV: هر چی کمتر بهتر(هزینه)

ICC : هر چی بیشتر بهتر(سود)

مراحل ویکور:

گام ۱:تعیین بهترین (f_j^*) و بدترین (f_j^-) مقدار برای هر معیار

برای معیار (کمتر بهتر)(CV,GRR):

$$f_j^* = \min$$

$$f_j^- = \max$$

برای معیار (بیشتر بهتر)(CC):

$$f_j^* = \max$$

$$f_j^- = \min$$

گام ۲:محاسبه فاصله نرمال شده :

$$d_{ij} = \frac{f_{ij}^* - f_{ij}^-}{f_j^* - f_j^-}$$

جدول(۵):ماتریس فاصله نرمال شده

دستگاه	%GRR	ICC	%CV
uni1	1	0	1
uni2	0	1	0.18
uni3	0.46	0.50	0

گام ۳:محاسبه R_i و S_i

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \frac{f_{ij}^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad R_i = \max(w_j \frac{f_{ij}^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-})$$

گام ۴:محاسبه شاخص های Q_i

$$Q_i = v \left[\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} \right] + (1 - v) \left[\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \right]$$

جدول(۶):محاسبه معیارهای روش ویکور

	S_i	R_i	Q_i
uni1	0.9998	0.878435	1
uni2	0.1551	0.1550	0.1131
uni3	0.0556	0.0555	0

نتیجه Uni1:Q:ضعیف ترین –رتبه اول uni3 (بهترین) –رتبه دوم uni2

گام ۵: شرط‌های قاطعیت/سازش: VIKOR روش ویکور برای معرفی یک گزینه به عنوان "بهترین راه‌حل مصالحه‌ای" دو شرط اساسی دارد:

شرط اول (مزیت قابل قبول):

$$\frac{1}{m-1} \leq Q(A^{(1)}) - Q(A^{(2)}) \rightarrow \frac{1}{m-1} = \frac{1}{3-1} = 0.5$$

اختلاف بین دو گزینه اول:

$$0.5 > 0.1131 - 0 = Q_{uni2} - Q_{uni3}$$

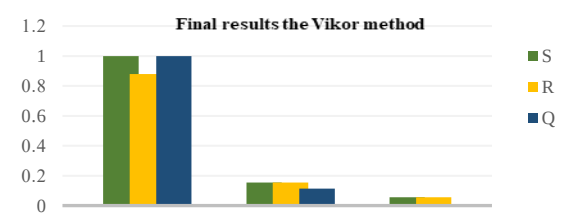
نتیجه: شرط اول برقرار نیست، بنابراین اختلاف بین uni2 و uni3 به اندازه کافی زیاد نیست.

شرط دوم (پایداری تصمیم):بهترین گزینه (uni3) باید در شاخص‌های S و R نیز برتری داشته باشد:

در R: مقدار حداقل مربوط به uni3 است.

در S: مقدار حداقل مربوط به uni3 است.

بنابراین:انتخاب نهایی روش ویکور uni3



نمودار(۳):نتایج نهایی روش ویکور(با وزن دهی آنتروپی)

۴. نتیجه گیری

در این مطالعه، وزن‌دهی عینی شاخص‌ها با روش آنتروپی شانون انجام شد و معیارهای با پراکندگی اطلاعاتی بیشتر نقش پررنگ‌تری در تصمیم‌گیری یافتند. سپس نتایج در چارچوب روش VIKOR به کار گرفته شد تا رتبه‌بندی نهایی دستگاه‌ها صورت گیرد. بر اساس محاسبات، دستگاه uni3 به‌عنوان دقیق‌ترین و پایاترین گزینه معرفی گردید، در حالی‌که uni2 در رتبه دوم و uni1 به دلیل عملکرد ضعیف‌تر در رتبه آخر قرار گرفت. این نتایج نه تنها برتری دستگاه منتخب را تأیید کردند، بلکه نشان دادند که شرایط توافق ویکور نیز به‌طور کامل برقرار است. در نهایت، این رویکرد منجر به افزایش دقت تصمیم‌گیری، بهینه‌سازی قابلیت اعتماد و ارتقای کارایی فرآیندهای کنترل کیفیت شد.

۵. مراجع

- [1]AIAG. (2010). Measurement systems analysis (MSA) (4th ed.). Automotive Industry Action Group.
- [2]Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. Bell System Technical Journal, 27(3), 379–423.
- [3]Zheng, G., Wang, X., 2020. The comprehensive evaluation of renewable energy system schemes in tourist resorts based on VIKOR method. Energy. 193, 116676.