

تصمیم گیری در مورد گزینه‌های بهبود محیط زیست در فرآیند رنگ‌آمیزی به روش AHP/TOPSIS

سپیده خوشاب^۱، پوریا فرح گل^۲، محمد حسین آسیا^{۳*}، متینه مقدم^۴

۱- کارشناسی ارشد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد یزد، یزد، ایران

۲- کارشناسی ارشد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز، شیراز، ایران

۳- کارشناسی ارشد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرمان، کرمان، ایران

۴- دانشجو دکتری تخصصی مدیریت بازرگانی، دانشگاه پیام نور تهران

*ایمیل نویسنده مسئول : asia.amin66@gmail.com

تاریخ دریافت : ۹۸/۰۶/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۷/۲۰

چکیده

هدف این پژوهش تصمیم گیری در مورد گزینه‌های بهبود محیط زیست در فرآیند رنگ آمیزی به روش AHP/TOPSIS است. روش تحقیق حاضر از نظر هدف کاربردی بوده و بر حسب روش، تحقیق از نوع توصیفی پیمایشی است. جامعه آماری این پژوهش، ۱۰ نفر از افراد آشنا به فرآیند رنگ آمیزی محیط زیست بوده اند. با میانگین هندسی یک پرسشنامه واحد بدست آمد. در این راستا ابتدا گزینه‌های بهبود محیط زیست در فرآیند رنگ آمیزی از مطالعات کتابخانه ای، شبکه اینترنت، پایگاه‌های داده علمی، مقالات علمی، کتب لاتین بدست آمده اند. سپس داده‌های مورد نیاز جهت مقایسات زوجی در جداول AHP ساخته شده از روش میدانی جمع آوری شدند. مسئله برآورد، به صورت یک مدل تصمیم گیری چندشاخصه، فرمول بندی شد و با استفاده از یک روش ترکیبی از فرآیند سلسله مراتبی تحلیلی (AHP) و روش تکنیک اولویت بندی بر اساس شباهت به راه حل ایده آل (TOPSIS) حل شد و گزینه‌ها اولویت بندی شدند که عبارتند از، استفاده از رنگ‌های پودری در اولویت اول، استفاده از رزین‌های جدید ساخته شده از گیاهان در اولویت دوم، روش‌های جدید عمل آوری پوشش‌ها در اولویت سوم، استفاده از ترکیبات خشک کن جدید بجای کبات در اولویت چهارم، و استفاده از رنگ‌های پایه آب بجای پایه حلال در اولویت پنجم قرار گرفتند.

کلمات کلیدی

"محیط زیست"، "AHP"، "TOPSIS"، "رنگ آمیزی"، "تشنشعات VOC"

Deciding on environmental improvement options in the Staining process By Method AHP / TOPSIS

¹Sepideh Khooshab, ²Pouria Farahgol, ^{3*}Mohammad Hossein Asia, ⁴Matineh moghaddam

1. M.Sc., Department of Industrial Management, Faculty of Humanities, Islamic Azad University, Yazd Branch, Yazd, Iran

2. M.Sc., Department of Industrial Management, Faculty of Economics and Management, Islamic Azad University, Shiraz Branch, Fars, Iran

*3. Corresponding Author: M.Sc., Department of Industrial Management, Faculty of Literature and Humanities, Islamic Azad University, Kerman Branch, Kerman, Iran

4. PhD Student of Business Management, Payam Noor University of Tehran

*Email Address: asia.amin66@gmail.com

Abstract

The aim of this research was to evaluate options for improving the environment in the staining process is AHP/TOPSIS. The purpose of the present study and in terms of methodology. The population of the study, 10 people were familiar with the coloring process environment. With an average unit after Geometric a questionnaire was obtained. In this regard, the process of coloring options for improving the environment of studies, library, Internet, scientific databases, scientific literature, latin literature were obtained. Then the required data for paired comparisons in tables made of AHP been collected. It is estimated, for a multi-criteria decision-making models, was formulated and using a combination of analytic hierarchy process (AHP) and prioritization techniques based on similarity to ideal solution (TOPSIS) was solved and prioritize options that include Azkh, the use of powder coatings in the first place, the new resins made from plants the second priority, third priority of new methods of curing coatings, the use of new compounds instead of Cobalt dryer in the fourth priority, and using water-based dyes were used for a solvent in the fifth priority.

Keywords:

"Environment", "AHP", "TOPSIS", "paint", "radiation VOC"

فن‌های تخلیه و سیستم گرمایش است. مطالعات بر روی تابش‌های VOC^۴، نوعاً بر محدودیت‌های تابش مواد مضر از طریق فرآیندهای ساخت در جو متمرکز بوده است (OJ, 2010; OJ, 2009). برای فرآیندهای رنگ آمیزی و تکمیل این امر عموماً به معنای برآورده ساختن حد نرخ تابش از پیش توصیف شده یا استفاده از یک تکنیک کاربردی پذیرفته شده است. سازندگان اروپایی که رنگ‌های بر پایه آب را جایگزین رنگ‌های بر پایه حلال کرده اند تا از الزام به استفاده از تجهیزات کنترل آلودگی‌ها اجتناب ورزند، باید مقررات قانونی EU^۵ را در نظر گیرند. در آمریکا، برآورد شده است که رنگ بر پایه آب زیست سازگارتر، ۸۰ - ۸۵٪ تقاضاها را شامل می‌شود (Kudronowicz and Sum, 2012). نیاز به انجام برآوردهای محیطی، با فشار فرآیندهای افکار عمومی و مقررات قانونی، افزایش می‌یابد. بنابراین، چالش اساسی، کار کردن بر روی برگشت تدریجی روندهای تولید و مصرفی است که بر خلاف اصول طراحی مهندسی و حفاظت محیط زیستی هستند. نگرانی‌های محیط زیستی همراه با ملاحظات اقتصادی برای تولید پاک تر، شرکت‌ها را به استفاده از روش‌ها و فن‌آوری‌های ساخت نوین و افزایش در تقاضا برای فن‌آوری‌های تولید پاک تر از نظر محیط زیست، تشویق می‌کند. فرآیند رنگ آمیزی در ساخت دیگ‌های بخار گرمایشی، انرژی بر و مواد بر است. از میان همه فرآیندهای ساخته دیگ بخار، این روش بیشترین سهم را در تابش‌های محیط زیستی دارد. نگرانی‌های محیط زیستی همراه با ملاحظات اقتصادی برای فن‌آوری‌های پاک تر منجر به گذار از پوشش‌های رنگ بر پایه حلال به پوشش‌های رنگ بر پایه آب به پوشش‌های رنگ پودری در دهه گذشته به هدف کاهش تابش‌های VOC و کم کردن نیاز به تجهیزات کاهش آلودگی شده است.

۲- روش انجام تحقیق

از آن جایی که نتایج حاصل از این تحقیق منبای توصیه و پیشنهاداتی برای صنایع رنگ می‌باشد، لذا می‌توان این پژوهش را از لحاظ هدف، کاربردی به شمار آورد که می‌تواند در جهت ارتقاء و بهبود کیفیت این صنایع مورد استفاده قرار گیرد. همچنین این تحقیق به لحاظ اجرا توصیفی - پیمایشی می‌باشد. خبرگان منتخب از جامعه آماری در این پژوهش شامل ۱۰ نفر از افراد آشنا به رنگ آمیزی محیط زیست می‌باشد. در این پژوهش جمع آوری داده‌ها به روش کتابخانه‌ای از منابع کتابخانه‌ای و اینترنتی شامل کتب، مقالات و مطالعات موردی، و از روش میدانی، از طریق پرسشنامه صورت می‌گیرد. ابتدا ۱۰ نفر از افراد آشنا به رنگ آمیزی محیط زیست پرسشنامه را پر کردند و بعد با میانگین هندسی یک پرسشنامه واحد ایجاد شد.

فرآیند رنگ آمیزی در ساخت دیگ‌های بخار گرمایشی، انرژی بر و مواد بر است. از میان همه فرآیندهای ساخته دیگ بخار، این روش بیشترین سهم را در تابش‌های محیط زیستی دارد. نگرانی‌های محیط زیستی همراه با ملاحظات اقتصادی برای فن‌آوری‌های پاک تر منجر به گذار از پوشش‌های رنگ بر پایه حلال به پوشش‌های رنگ بر پایه آب به پوشش‌های نیاز به انجام برآوردهای محیطی، با فشار فرآیندهای افکار عمومی و مقررات قانونی، افزایش می‌یابد. بنابراین، چالش اساسی، کار کردن بر روی برگشت تدریجی روندهای تولید و مصرفی است که بر خلاف اصول طراحی مهندسی و حفاظت محیط زیستی هستند. نگرانی‌های محیط زیستی همراه با ملاحظات اقتصادی برای تولید پاکتر، شرکت‌ها را به استفاده از روش‌ها و فن‌آوری‌های ساخت نوین و افزایش در تقاضا برای فن‌آوری‌های تولید پاکتر از نظر محیط زیست، تشویق می‌کند. تلاش‌هایی برای تحلیل بهبود محیط زیستی با استفاده از روش‌ها یا ابزارهای مختلف صورت گرفته است. این تلاش‌ها، تولید گزینه‌های بهبود دهنده را برای فرآیندهای تولید و همچنین در مراحل ساخت، خدمات، نگه داری و حذف تسهیل می‌کند. ارزیابی چرخه عمر^۱ (LCA)، چنین روشی است، که می‌تواند برای شناسایی هزینه‌های محیط زیستی‌ای به کار رود که از یک محصول در مراحل مختلف چرخه عمرش حاصل می‌شوند (Ishi, 1995; Papasavva et al., 2002; Thorn et al., 2011; Chiu et al., 2012). LCA، همه جریان‌های انرژی و ماده، از جمله گزینه‌های جلوگیری از آلودگی، در همه مراحل ساخت، استفاده و انتهای عمر یک محصول را در نظر می‌گیرد. این پژوهش، که بر پایه یک موردپژوهی صنعتی است، احتمالات موجود برای بهبودهای محیط زیستی را در فرآیند رنگ آمیزی برای ساخت دیگ‌های بخار گرمایی مرکزی، کشف می‌کند. هدف این مطالعه، شناسایی فرصت‌ها برای جلوگیری یا محدود سازی تأثیرات محیط زیستی فرآیند رنگ آمیزی است. مسئله برآورد، به صورت یک مدل تصمیم گیری چند شاخصه، فرمول بندی شد و با استفاده از یک روش ترکیبی از فرآیند سلسله مراتبی تحلیلی (AHP^۲) و روش تکنیک اولویت بندی بر اساس شباهت به راه حل ایده آل (TOPSIS^۳) حل می‌شود. AHP برای تعیین ضرایب وزنی لازم به کار می‌رود. رتبه بندی جایگزین‌ها با استفاده از TOPSIS انجام می‌شود. این برآورد، مزایای یک فن‌آوری پاک، بدون آلودگی را بیان می‌کند که به صورت موثر، استفاده از حلال‌های خطرناک را حذف می‌کند و از تولید تشعشعات آلی فرآر و زباله جامد خطرناک جلوگیری می‌کند. نتایج نشان می‌دهند که مناسب ترین گزینه بهبودی که باید در شرکت مورد نظر اجرا شود، یک کارگاه رنگرزی مجهز به تامین هوا،

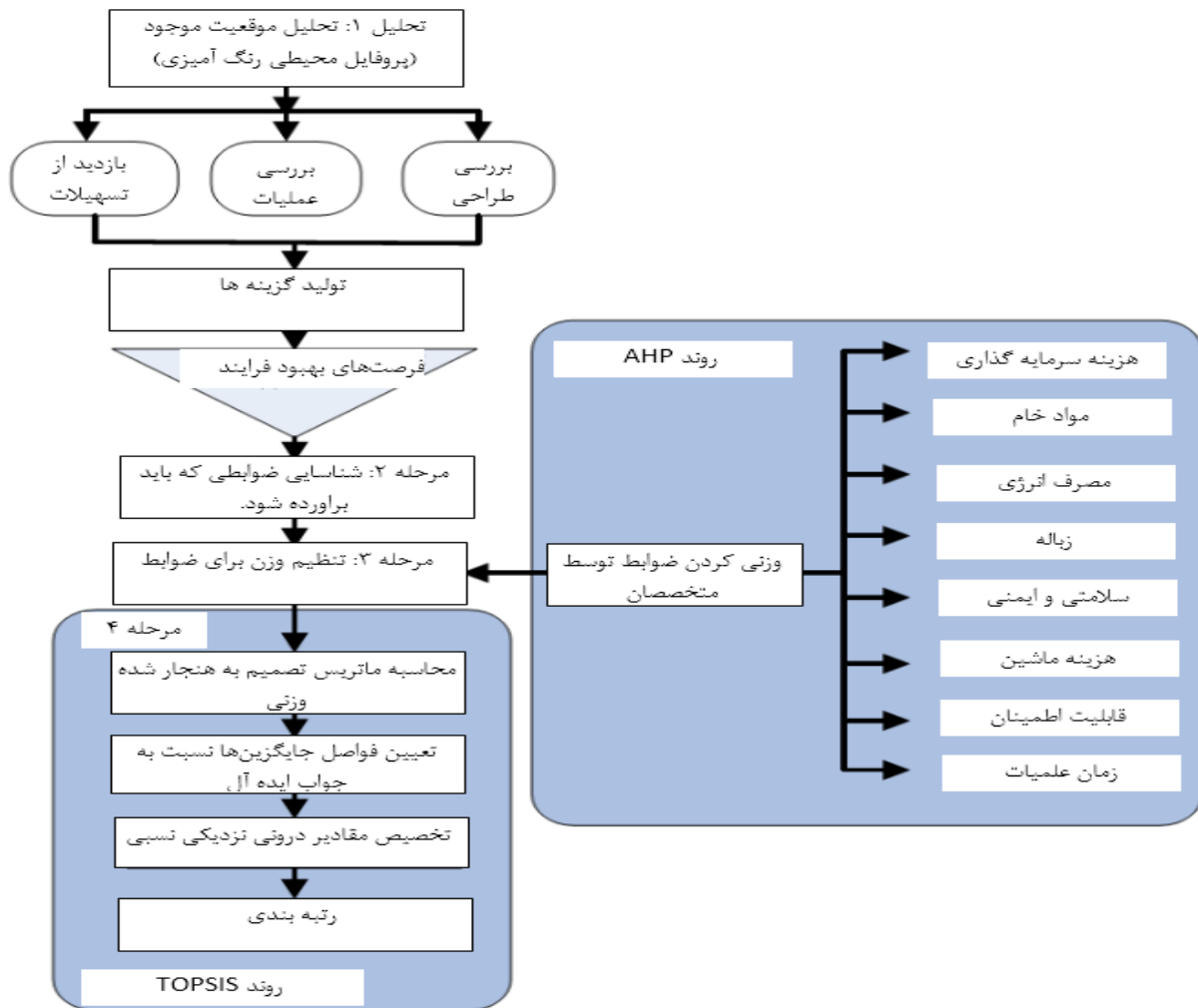
^۴ Volatile Organic Compound

^۵ European Union

^۱ Life Cycle Assessment

^۲ Analytical Hierarchy Process

^۳ Technique For Order Preference By Similarity To Ideal Solution



شکل (۱): روش شناسی

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & 1 & \dots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix}, a_{ij} = a_{ij}^{-1}; (i = j) = > (a_{ij} = 1); i, j = 1, 2, \dots, n$$

(۱)

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{(n-1)(\lambda_{max} + n)}$$

(۲)

برای ارزیابی اهمیت نسبی ضوابط، ساعتی (۱۹۸۰، ۲۰۰۸)^۶ یک تعیین کمیت در مقیاس اندازه گیری «یک به نه» زبانی پیشنهاد شد که در آن، $a_{ij}=1$ دلالت بر این دارد که ضوابط i و j به یک اندازه مهم هستند، $i=2$ اندکی مهم تر از j است، $i=3$ اهمیت متوسط، $i=4$ بیش از متوسط، $i=5$ قوی، $i=6$ بیش از قوی، $i=7$ خیلی قوی یا اثبات شده، $i=8$ خیلی خیلی قوی، $i=9$ بی نهایت. مقدار $a_{ij}=1/5$ نشان می‌دهد که ضابطه j به شدت مهم تر از i است و $a_{ij}=1/9$ نشان می‌دهد که ضابطه j بی نهایت مهم تر از i است. ماتریس $A=[a_{ij}]_{n \times n}$ (معادله (۱))، که در آن، n نشان دهنده تعداد صفات یا ضوابط است، از طریق مجموعهای از مقایسه‌های دو به دو ضوابط با استفاده از مقیاس اصلی حاصل می‌شود.

⁶ Saaty (1980, 2008)

منفی ایده آل (معادلات (۸) - (۹)) را تعیین می شود.

$$A^+ = (v_1^+, v_2^+, \dots, v_n^+) \quad (۶)$$

$$v_j^+ = \begin{cases} \max(v_{ij}) & \text{برای ضوابط سود} \\ i = 1, 2, \dots, m \\ \min(v_{ij}) & \text{برای ضوابط هزینه} \\ i = 1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (۷)$$

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-) \quad (۸)$$

$$v_j^- = \begin{cases} \min(v_{ij}) & \text{برای ضوابط سود} \\ i = 1, 2, \dots, m \\ \max(v_{ij}) & \text{برای ضوابط هزینه} \\ i = 1, 2, \dots, m \end{cases} \quad (۹)$$

- فواصل اقلیدسی جایگزین‌ها را با جواب مثبت ایده آل d_j^+ و جواب منفی ایده آل d_j^- (معادله (۱۰)) محاسبه می شود.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}; \quad d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (۱۰)$$

- نزدیکی نسبی RC هر جایگزین را به جواب ایده آل محاسبه می شود (معادله (۱۱)).

$$RC_i = d_i^- / (d_i^+ + d_i^-) \quad (۱۱)$$

- جایگزین‌ها را مطابق با RC رتبه بندی می شود. بهترین مورد، موردی با بزرگترین RC است.

۳-نتایج

گام نخست معیارهای اصلی انتخاب شده است. معیارهای اصلی عبارتند از: عوامل فیزیکی، عوامل شیمیایی و عوامل ارگونومیک. هر یک از این معیارها از تعدادی زیرمعیار تشکیل شده است. در این پژوهش ۵ گزینه انتخاب شده و در نهایت با تکنیک TOPSIS اولویت بندی می شود. همچنین معیارها و زیرمعیارهای پژوهش و نیز گزینه‌ها با اندیس عددی بصورت جدول (۱) و جدول (۲) نامگذاری شده‌اند تا در جریان تحقیق به سادگی قابل ردیابی و مطالعه باشد. در این پژوهش برای تعیین وزن شاخص‌های مدل از تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده شده است. الگوی سلسله‌مراتبی مدل با استفاده از تکنیک AHP و TOPSIS در شکل (۲) ترسیم شده است.

روند محاسبه برای درجه سازگاری تصمیم سازان به صورت زیر است (Dahlggaard et al., 2002):

- ستون‌های ماتریس اصلی را در اولویت‌های (وزن‌های نسبی W_j) درایه‌ها ضرب می شود.
- جمع سطر ماتریس جدید را محاسبه می شود.
- مجموع سطری را بر اولویت‌ها (وزن‌های نسبی W_j) درایه‌ها تقسیم می شود.
- میانگین اعداد جدید را محاسبه می شود (این میانگین، یک برآورد از λ_{max}).
- نسبت سازگاری (CR) را با استفاده از CI و RCI (شاخص سازگاری تصادفی) (Putrus, 1990) و فرمول‌های ارائه شده در معادله (۳) اندازه گیری می شود.
- سازگاری ماتریس مقایسه دو به دو را بررسی می شود.
CR=CI/RCI; RCI=1.99·(n-2)/n

اگر CR کمتر از ۰.۱ باشد، آنگاه ماتریس قضاوت، سازگار است، وگرنه مقایسه‌های دو به دو باید دوباره ارزیابی شوند (فرایند وزنی کردن از ابتدا شروع می شود).

نویسندگان، یک بسط گروهی از AHP را برای ایجاد وزن‌های ضوابط اعمال کردند (جدول ۱ را ببینید) که توسط بریندزا (۲۰۰۶) پیشنهاد شده است.

مرحله ۴، جایگزین‌ها را رتبه بندی می کند. TOPSIS برای غلبه بر مسئله درجه بندی اعمال می شود و مراحل زیر باید در نظر گرفته شوند:

- یک ماتریس تصمیم بسازید $X=[x_{ij}]_{m \times n}$ ، که در آن، m تعداد جایگزین‌ها و n تعداد ضوابط است.
- بردار وزن‌های ضوابط W_j را ایجاد کنید، که در آن، j شاخص ضوابط است.
- ماتریس تصمیم به هنجار شده $N=[n_{ij}]_{m \times n}$ (معادله (۴)) را برای تبدیل صفت‌هایی با ابعاد مختلف به صفات دو بعدی، که امکان مقایسه بین صفات را فراهم می آورد، محاسبه می شود.

$$n_{ij} = x_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}; \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (۴)$$

- ماتریس تصمیم به هنجار شده وزنی را به همان صورتی که در معادله (۵) داده شده است، محاسبه می کنیم، که در آن، V_{ij} به صورت وزنی به هنجار می شود، W_j وزن صفت یا ضابطه j ام است.

$$v_{ij} = w_j \cdot n_{ij}; \quad \sum_{j=1}^n w_j = 1; \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (۵)$$

- جواب A^+ مثبت ایده آل (معادلات (۶) - (۷)) و جواب A^-

به صورت دو به دو مقایسه شوند. بنابراین اگر در یک خوشه n عنصر وجود داشته باشد $\frac{n(n-1)}{2}$ مقایسه صورت خواهد گرفت. چون سه معیار وجود دارد بنابراین تعداد مقایسه‌های انجام شده برابر است با:

$$\frac{n(N-1)}{2} = \frac{3(3-1)}{2} = 3$$

بنابراین ۳ مقایسه زوجی از دیدگاه گروهی از خبرگان که ۱۰ نفر می‌باشند انجام شده است و با استفاده از تکنیک میانگین هندسی دیدگاه خبرگان تجمیع گردیده است. ماتریس مقایسه زوجی حاصل از تجمیع دیدگاه خبرگان در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول (۳): ماتریس مقایسه زوجی معیارهای اصلی

c1	c2	c3
	1.66	2.47
		1.26
Incon: 0.00		

گام بعدی محاسبه میانگین هندسی هر سطر برای تعیین وزن معیارها است. به همین ترتیب میانگین هندسی سایر سطرها محاسبه می‌شود. سپس مجموع میانگین هندسی تمامی سطرها محاسبه می‌شود. با تقسیم میانگین هندسی هر سطر بر مجموع میانگین هندسی سطرها مقدار وزن نرمال بدست می‌آید که به آن بردار ویژه نیز گفته می‌شود. در این تحقیق با وارد کردن میانگین هندسی در نرم افزار expert choice معیارها وزن دهی و نمودار اولویت بندی معیارها استخراج می‌شود. براساس شکل (۲) بردار ویژه اولویت معیارهای اصلی به صورت W_1 خواهد بود.

$$W_1 = \begin{pmatrix} 0.501 \\ 0.285 \\ 0.214 \end{pmatrix}$$



شکل (۳): نمایش گرافیکی اولویت معیارهای اصلی

براساس بردار ویژه بدست آمده:

معیار عوامل فیزیکی با وزن نرمال شده ۰/۵۰۱ از بیشترین اولویت برخوردار است. معیار عوامل شیمیایی با وزن مشابه ۰/۲۸۵ در اولویت دوم قرار دارد. معیار آرگونومیک با وزن نرمال ۰/۲۱۴ در اولویت سوم قرار دارد. نرخ ناسازگاری مقایسه‌های انجام شده ۰/۰۰۲ بدست آمده است که کوچکتر از ۰/۱ می‌باشد و بنابراین می‌توان به مقایسه‌های انجام شده اعتماد کرد.

• مقایسه و تعیین اولویت زیرمعیارها

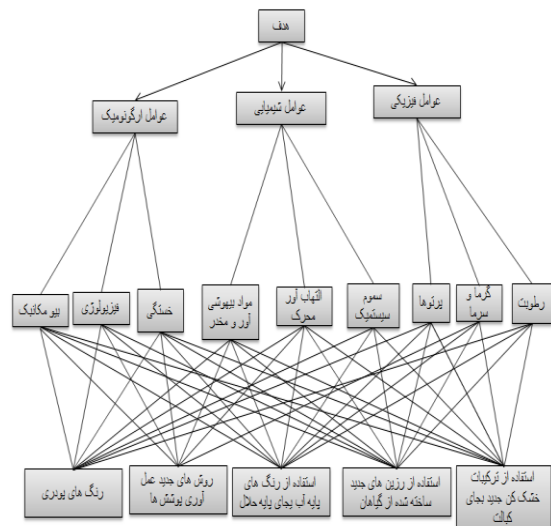
در گام دوم از تکنیک AHP مجموعه زیرمعیارهای مربوط به هر معیار

جدول (۱): معیارها و زیرمعیارها

نماد	معیار اصلی	نماد	زیر معیار
C1	عوامل فیزیکی	C11	رطوبت
		C12	گرما و سرما
		C13	پرتوها
C2	عوامل شیمیایی	C21	سموم سیستمیک
		C22	التهاب آور محرک
		C23	مواد بی‌هوشی آور و مخدر
C3	عوامل آرگونومیک	C31	خستگی
		C32	فیزیولوژی
		C33	بیومکانیک

جدول (۲): گزینه‌ها

نماد	گزینه
A1	استفاده از ترکیبات خشک کن جدید بجای کبالت
A2	استفاده از رزین‌های جدید ساخته شده از گیاهان
A3	استفاده از رنگ‌های پایه آب بجای پایه حلال
A4	روش‌های جدید عمل آوری پوشش‌ها
A5	استفاده از رنگ‌های پودری



شکل (۲): معیارها و زیر معیارها و گزینه‌های تحقیق

• تعیین اولویت معیارهای اصلی براساس هدف

برای انجام تحلیل سلسله‌مراتبی نخست معیارهای اصلی براساس هدف بصورت زوجی مقایسه شده‌اند. تکنیک AHP یک تکنیک رتبه‌بندی است و رتبه‌بندی در این تکنیک براساس مقایسه‌های زوجی صورت می‌گیرد. مقایسه زوجی بسیار ساده است و تمامی عناصر هر خوشه باید

تعیین اولویت زیرمعیارهای عوامل آرگونومیک
محاسبات انجام شده برای تعیین اولویت زیرمعیارهای عوامل آرگونومیک در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول (۶): تعیین اولویت زیرمعیارهای عوامل آرگونومیک

	s31	s32	s33
s31		2.33	2.44
s32			2.2
s33		Incon: 0.06	

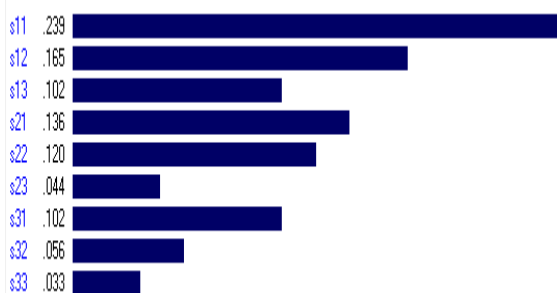


شکل (۶): تعیین اولویت زیرمعیارهای عوامل آرگونومیک

بیشترین اولویت مربوط به خستگی با وزن ۰/۵۳۵ است. معیار فیزیولوژی با وزن ۰/۲۹۴ از در اولویت دوم قرار دارد. معیار بیومکانیک با وزن نرمال ۰/۱۷۱ در اولویت سوم قرار دارد. نرخ ناسازگاری مقایسه‌های انجام شده ۰/۰۶ بدست آمده است که کوچکتر از ۰/۱ می‌باشد و بنابراین می‌توان به مقایسه‌های انجام شده اعتماد کرد.

• وزن نهایی معیارها

در این گام اولویت نهائی محاسبه می‌شود. نتایج مقایسه زیرمعیارهای تحقیق و اوزان مربوط به آنها ماتریس W_2 را تشکیل می‌دهد. برای تعیین اولویت نهائی گزینه‌ها با تکنیک AHP کفایت وزن شاخص‌ها براساس هر معیار (W_2) در وزن معیارهای اصلی (W_1) ضرب شود. با در دست داشتن وزن هر یک از معیارهای اصلی (W_1) و زیرمعیارها (W_2) وزن هر یک از گزینه‌ها محاسبه می‌شود. در اینجا با وارد کردن میانگین هندسی مربوط به هر شاخص، عملیات فوق در نرم افزار Expert choice انجام شده و نتایج محاسبات انجام شده و اوزان مربوط به هر گزینه در شکل (۷) آمده است:



شکل (۷): تعیین اولویت نهائی گزینه‌ها در اکسپرت چویس

• به صورت زوجی در خوشه مربوط به خود مقایسه و تعیین اولویت شده است. خلاصه نتایج مقایسه زوجی زیرمعیارهای هر خوشه به تفکیک ارائه شده است.

• تعیین اولویت زیرمعیارهای عوامل فیزیکی

محاسبات انجام شده برای تعیین اولویت زیرمعیارهای عوامل فیزیکی در جدول ارائه شده است.

جدول (۴): تعیین اولویت زیرمعیارهای عوامل فیزیکی

	s11	s12	s13
s11		1.88	1.8
s12			2.1
s13		Incon: 0.07	



شکل (۴): تعیین اولویت زیرمعیارهای عوامل فیزیکی

براساس بردار ویژه بدست آمده: بیشترین اولویت مربوط به معیار رطوبت با وزن ۰/۴۷۲ است. معیار گرما و سرما با وزن نرمال ۰/۳۲۶ در اولویت دوم قرار دارد. معیار پرتوها با وزن نرمال ۰/۲۰۲ در اولویت سوم قرار دارد. نرخ ناسازگاری مقایسه‌های انجام شده ۰/۰۷ بدست آمده است که کوچکتر از ۰/۱ می‌باشد و بنابراین می‌توان به مقایسه‌های انجام شده اعتماد کرد.

• تعیین اولویت زیرمعیارهای عوامل شیمیایی

محاسبات انجام شده برای تعیین اولویت زیرمعیارهای عوامل شیمیایی در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول (۵): تعیین اولویت زیرمعیارهای عوامل شیمیایی

	s21	s22	s23
s21		1.0	3.5
s22			2.4
s23		Incon: 0.02	



شکل (۵): تعیین اولویت زیرمعیارهای عوامل شیمیایی

براساس بردار ویژه بدست آمده: بیشترین اولویت مربوط به معیار سموم سیستمیک با وزن ۰/۴۵۳ است. معیار التهاب آور محرک با وزن نرمال ۰/۴۰۰ در اولویت دوم قرار دارد. معیار مواد بی‌هوشی آور و مخدر با وزن نرمال ۰/۱۴۷ در اولویت سوم قرار دارد. نرخ ناسازگاری مقایسه‌های انجام شده ۰/۰۲ بدست آمده است که کوچکتر از ۰/۱ می‌باشد و بنابراین می‌توان به مقایسه‌های انجام شده اعتماد کرد.

انتخاب بهترین راه کار با تکنیک TOPSIS

در این پژوهش برای انتخاب بهترین راه کار از تکنیک تاپسیس استفاده شده است. تکنیک TOPSIS⁷ بوسیله هوانگ و یون^۸ به سال ۱۹۸۱ پیشنهاد شد. این روش یکی از بهترین روش های تصمیم گیری چند معیاره برای انتخاب بهترین راه کار است. بهترین راه کار روشی است که بیشترین فاصله را از عوامل منفی و کمترین فاصله را از عوامل مثبت داشته باشد. در این مطالعه از ۹ شاخص برای تصمیم گیری استفاده شده است و به اولویت بندی ۵ گزینه براساس شاخص های مورد بررسی پرداخته شده است.

شناسائی معیارها و گزینه ها

گام اول: شاخص های اصلی (معیارها) و گزینه ها با استفاده از ادبیات پژوهش شناسائی گردیده اند. بنابراین ماتریس امتیازدهی گزینه ها براساس معیارها (ماتریس تصمیم) تشکیل شده است. برای امتیازدهی گزینه ها براساس هر معیار استفاده شده است. در اینجا ۱۰ کارشناس به روش لیکرت نه گانه پرسشنامه را پر نموده اند. ماتریس تصمیم در جدول (۷) ارائه شده است.

جدول (۷): ماتریس تصمیم

S33	S32	S31	S23	S22	S21	S13	S12	S11	
3.7	4.2	5.1	5.4	3.4	6.7	6	5.4	4.2	A1
4.6	4.6	5.2	4.4	5.4	5.2	5.4	6.1	4.7	A2
4.3	4.7	6	5.1	4.2	5.9	5.5	4.7	4	A3
5.3	5.8	6.2	4.8	6.2	4.6	6.2	4.2	4.5	A4
5.9	5.7	4.7	5.5	5.6	4.7	5.1	5.1	6.4	A5

گام دوم: تهیه ماتریس بی مقیاس شده

در گام دوم بی مقیاس سازی ماتریس تصمیم گیری با نرم صورت گرفته است. اگر هر درایه ماتریس بی مقیاس شده را با N و هر درایه آن را با n_{ij} نشان می دهند. هر n_{ij} با تقسیم درایه متناظر در ماتریس اولیه بر جذر مجموع مربعات عناصر ستون متناظر و به صورت زیر محاسبه می شود:

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_1^m a_{ij}^2}}$$

بنابراین برون داد نرم افزار TOPSIS برای ماتریس بی مقیاس شده N به صورت زیر است:

جدول (۸): ماتریس تصمیم گیری بی مقیاس شده

S33	S32	S31	S23	S22	S21	S13	S12	S11	n
0.343	0.373	0.417	0.478	0.300	0.547	0.475	0.470	0.388	A1
0.427	0.408	0.425	0.389	0.477	0.425	0.427	0.531	0.435	A2
0.399	0.417	0.491	0.451	0.371	0.482	0.435	0.409	0.370	A3
0.492	0.515	0.507	0.425	0.548	0.376	0.490	0.365	0.416	A4
0.547	0.506	0.384	0.486	0.495	0.384	0.403	0.444	0.592	A5

گام سوم: تهیه ماتریس بی مقیاس موزون

در گام سوم باید ماتریس بی مقیاس (N) به ماتریس بی مقیاس موزون (V) تبدیل شود. برای بدست آوردن ماتریس بی مقیاس موزون باید اوزان شاخص ها را داشته باشیم. وزن هر یک از شاخص ها با استفاده از تکنیک AHP محاسبه شده است که در نمودار ۴-۵ مشاهده می شود. به این منظور ماتریس بی مقیاس شده را در ماتریس مربعی ($W_{n \times n}$) که عناصر قطر اصلی آن اوزان شاخص ها و دیگر عناصر آن صفر است ضرب می کنیم. ماتریس حاصل را ماتریس بی مقیاس شده موزون گویند و با V نشان داده می شود. (مومنی و شریفی، ۱۳۸۹: ۱۵۳)

$$V = N \times W_{n \times n}$$

نتیجه این محاسبه در جدول (۹) خلاصه شده است:

جدول (۹): ماتریس بی مقیاس شده موزون

S33	S32	S31	S23	S22	S21	S13	S12	S11	V
0.012	0.023	0.046	0.023	0.039	0.080	0.045	0.054	0.100	A1
0.015	0.025	0.047	0.019	0.062	0.062	0.040	0.062	0.112	A2
0.014	0.025	0.054	0.022	0.048	0.071	0.041	0.047	0.095	A3
0.017	0.031	0.056	0.020	0.071	0.055	0.046	0.042	0.107	A4
0.019	0.031	0.043	0.023	0.064	0.056	0.038	0.051	0.153	A5

گام چهارم: محاسبه ایده آل های مثبت و منفی

در این گام برای هر شاخص یک ایده آل مثبت (A^+) و یک ایده آل منفی (A^-) محاسبه می شود. در تصمیم گیری حاضر دو شاخص از نوع منفی است و سایر شاخص ها از نوع مثبت هستند. اکنون باید ایده آل های مثبت و منفی را برای هر شاخص بدست آورد. بنابراین مقدار ایده آل مثبت و منفی برای این موقعیت تصمیم گیری به قرار زیر است:

0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	V
19	31	56	23	71	80	46	62	53	+
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	V
12	23	43	19	39	55	38	42	95	-

گام پنجم: محاسبه فاصله هر گزینه از ایده آل های مثبت و منفی

خروجی نرم افزار TOPSIS برای این معادلات به صورت جدول (۱۰) است:

جدول (۱۰): محاسبات d^+ و d^-

-D	+D	
0.029678	0.063771	A1
0.035563	0.047467	A2
0.022833	0.064759	A3
0.039156	0.055412	A4
0.06434	0.031275	A5

گام ششم: محاسبه راه حل ایده آل

در این گام میزان نزدیکی نسبی هر گزینه به راه حل ایده آل حساب می شود. برای اینکار از فرمول زیر سود می بریم:

$$CL_i^* = d_i^- / (d_i^- + d_i^+)$$

مقدار CL_i^* بین صفر و یک است. هرچه این مقدار به یک نزدیکتر باشد راه کار به جواب ایده آل نزدیکتر است و راه کار بهتری می باشد. این

⁸ Hwang And Yoon

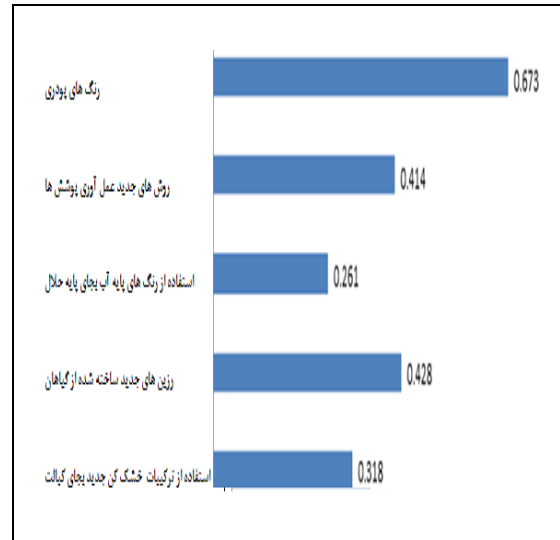
⁷ Technique For Order Preference By Similarity To Ideal Solution

مقادیر در جدول (۱۱) آمده است:

جدول (۱۱): مقادیر CL محاسبه شده

CL	-D	+D	
0.318	0.029678	0.063771	استفاده از ترکیبات خشک کن جدید بجای کبالت
0.428	0.035563	0.047467	رزین‌های جدید ساخته شده از گیاهان
0.261	0.022833	0.064759	استفاده از رنگ‌های پایه آب بجای پایه حلال
0.414	0.039156	0.055412	روش‌های جدید عمل آوری پوشش‌ها
0.673	0.06434	0.031275	رنگ‌های پودری

بنابراین با توجه به مقادیر محاسبه شده مندرج در جدول (۱۱) می‌توان نتیجه گرفت:



شکل (۸): وضعیت اولویت بندی گزینه‌های

(۱) بهترین انتخاب استفاده از رنگ‌های پودری یعنی گزینه A5 است. امروزه استفاده از رنگ‌های پودری باعث شده تا جایگزین مناسبی برای رنگ‌های سنتی مایع در نظر گرفته شوند و روز به روز از اهمیت قابل توجهی برخوردار شوند. یکی از دلایل آن این است که در استفاده از رنگ‌های پودری به هیچ نوع حلالی نیاز پیدا نخواهید کرد می‌توان گفت به غیر از وجود نداشتن حلال در آن نسبت به رنگ‌های مایع آلودگی کمتری هم ایجاد کرده و باعث دوام و پایداری بالاتری می‌گردد.

(۲) گزینه استفاده از رزین‌های جدید ساخته شده از گیاهان یعنی گزینه A2 در جایگاه دوم قرار دارد. رزین طبیعی از گیاهان به دست می‌آید بهترین نمونه آن شیره درخت کاج است که بوی تند ترکیبات ترین را دارد تعدادی از گیاهان دیگر نیز رزین تولید می‌کند و این مواد هزاران سال است که مورد استفاده بشر قرار گرفته است.

(۳) گزینه روش‌های جدید عمل آوری پوشش‌ها A4 سومین انتخاب مناسب می‌باشد. استفاده از پوشش‌های پایه آب و قابل عمل آوری با فرابنفش به عنوان یک روش محیط زیستی خوب شناخته شده اند. مهمترین مزیت سیستم‌های عمل آوری شده با نور فرابنفش نبود ترکیبات آلی فرار با رسوبات باقیمانده مونومر است. این موضوع باعث می‌شود فرایند پوشش برای محیط کم خطرتر باشند.

(۴) گزینه استفاده از ترکیبات خشک کن جدید بجای کبالت یعنی A1 در جایگاه چهارم قرار می‌گیرد. گستره وسیعی از افزودنی‌ها با کردهای خاص در رنگ وجود دارد. یکی از مهمترین این افزودنی‌ها

کاتالیزورهایی هستند که برای خشک کردن رنگ بکار می‌روند که به عنوان خشک کن شناخته می‌شوند خشک کن‌ها کمپلکس‌های شیمیایی هستند که با تسریع سرعت و تشکیل اتصالات عرضی بین رنگ پایه‌ها به خشک شدن رنگ کمک می‌کنند و باعث کاهش مدت زمان خشک شدن رنگ می‌شوند. علاوه بر مشکل VOC مساله دیگر استفاده از کبالت به عنوان خشک کننده است ترکیبات کبالت معمول ترین خشک کننده‌ها برای خشک کردن اکسیداسیونی رنگ‌های الکیدی هستند.

(۵) گزینه استفاده از رنگ‌های پایه آب بجای پایه حلال یعنی A3 در اولویت آخر قرار می‌گیرد. رنگ‌های پایه آب جایگزین برای آستر و رنگ رویه پایه حلالی هستند. ظهور رنگ‌های لاتکسی اولین قدم اصلی برای دور شدن از پوشش‌های پایه حلالی بود. این پوشش‌ها معمولاً شامل بالای ۸۰٪ وزنی آب و مقادیر کمی از حلال‌های آلیمانند گلیکول اتر می‌باشند.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از ترکیب تکنیک‌های AHP/TOPSIS برای دستیابی به هدف پژوهش که همان ارزیابی و اولویت بندی گزینه‌های بهبود محیط زیست در فرایند رنگ آمیزی بود این نتیجه حاصل گردید. استفاده از رنگ‌های پودری با وزن ۰.۶۷۳ از اهمیت بالاتری از سایر گزینه‌ها قرار گرفته است و چهار گزینه دیگر که عبارتند از: استفاده از رزین‌های جدید ساخته شده از گیاهان، روش‌های جدید عمل آوری پوشش‌ها، استفاده از ترکیبات خشک کن جدید بجای کبالت، استفاده از رنگ‌های پایه آب بجای پایه حلال به ترتیب با وزن‌های ۰.۴۲۸، ۰.۴۱۴، ۰.۳۱۸ و ۰.۲۶۱ در اولویت‌های بعدی قرار گرفته بودند لذا استفاده از رنگ‌های پودر در فرایند رنگ آمیزی محیط زیست، نیاز به تمرکز بالاتری خواهد داشت. بر اساس نظر خبرگان در این تحقیق گزینه‌های بهبود محیط زیست عبارتند از: استفاده از ترکیبات خشک کن جدید بجای کبالت، استفاده از رزین‌های جدید ساخته شده از گیاهان، استفاده از رنگ‌های پایه حلال، روش‌های جدید عمل آوری پوشش‌ها، استفاده از رنگ‌های پودری، می‌باشد. بر اساس نتایج بدست آمده اولویت گزینه‌های بهبود محیط زیست عبارتند از: استفاده از رنگ‌های پودری، استفاده از رزین‌های جدید ساخته شده از گیاهان، روش‌های جدید عمل آوری پوشش‌ها، استفاده از ترکیبات خشک کن جدید بجای کبالت، استفاده از رنگ‌های پایه آب بجای پایه حلال. با توجه به نتایج بدست آمده در مرحله اول جهت بهبود محیط زیست، پیشنهاد می‌شود بر روی استفاده از رنگ‌های پودری تمرکز کنند. با توجه به نتایج بدست آمده در مرحله دوم جهت بهبود محیط زیست، پیشنهاد می‌شود دوم بر روی استفاده از رزین‌های جدید ساخته شده از گیاهان تمرکز کنند. با توجه به نتایج بدست آمده در مرحله سوم جهت بهبود محیط زیست، پیشنهاد می‌شود بر روی استفاده از روش‌های جدید عمل آوری پوشش‌ها تمرکز کنند. با توجه به نتایج بدست آمده در مرحله چهارم جهت بهبود محیط زیست، پیشنهاد می‌شود بر روی استفاده از ترکیبات خشک کن جدید بجای کبالت تمرکز کنند. با توجه به نتایج بدست آمده در مرحله پنجم جهت بهبود محیط زیست، پیشنهاد می‌شود بر روی استفاده از رنگ‌های پایه آب بجای پایه حلال تمرکز کنند.

منابع

- Chiu, Y.W., Suh, S., Pfister, S., Hellweg, S., and Koehler, A. 2012 . Measuring ecological impact of water consumption by bioethanol using life cycle impact assessment. *Int. J. Life Cycle Asses*, vol. 17, p,16-24.
- Dahlgaard, J.J, Kristensen, K., and Kanji, G.K. 2002 . *Fundamentals of Total Quality Management. Process Analysis and Improvement*, Taylor&Francis, London, New York.
- Ishi, K. 1995. Life-cycle engineering design. *J. Mech. Des*, Vol, 117, p. 42-47.
- Kudronowicz, J., Sum, K. 2012. Reduce Paint VOC Emissions' Costs with Concentrators, Compress Emissions, Compress Costs. *Machinery and Equipment Article. Green Manufacturer*.
- OJ (Official Journal of the European Union). 2009. L 140/63. Directive 2009/29/EU .
- OJ. 2010. L 334/17. Directive .2010/75/EU of 24 November. 2010. on Industrial Emissions (Integrated Pollution Prevention and Control).
- Papasavva, S., Kia, S., Claya, J., Gunther, R. 2002. Life cycle environmental assessment of paint processes, *J. Coat, Technol*, Vol. 74. 925,p. 65-76.
- Putrus, P. 1990. Accounting for intangibles in integrated manufacturing (nonfinancial justification based on the analytical hierarchy process), *Inf. Strat*, Vol. 6. P. 25-30.
- Saaty, T.L. 1980. *Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.
- Saaty, T.L. 2008. Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process. *Rev, Real Acad. Cienc. Exactas Fis, Nat, Ser, Mat*, Vol. 102 (2), P. 2.
- Thorn, M.J., Kraus, J.L., Parker, D.R. 2011. Life-cycle assessment as a sustainability management tool: strengths, weaknesses, and other considerations, *Environ. Qual. Manag.* Vol. 20, p. 1-10.