

اولویت بندی تجهیزات بازیافت انرژی در کوره رنگ خودرو بر اساس معیارهای اقتصادی، زیست محیطی و گرمایش زمین با استفاده از روش ANP

حسن تسلیمی^{۱*}، ابوالحسن غفارنژاد^۲، حسن حاله^۳

^۱ کارشناس ارشد دانشکده مکانیک- دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان- تاکستان- ایران

shahram_taslimey@yahoo.com

^۲ استادیار دانشکده مکانیک- دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان- تاکستان- ایران

a_ghaffarnejad@hotmail.com

^۳ استادیار دانشکده مهندسی صنایع- دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین- قزوین- ایران

hhaleh@Qiav.ac.ir

دریافت مقاله: ۹۰/۱۰/۳۰ اصلاحیه: ۹۱/۱/۲۷

پذیرش مقاله: ۹۱/۸/۲۰

چکیده: در این تحقیق، سعی بر ارائه مدل جهت اولویت بندی تجهیزات بازیافت انرژی با توجه به قوانین زیست محیطی و فاکتورهای اقتصادی مدنظر سرمایه گذاران است. از نتایج مهم این تحقیق، ایجاد الگویی برای مدیریت سرمایه گذاری در تجهیزات بازیافت انرژی در راستای اهداف اقتصادی، کاهش آلودگی های زیست محیطی و گرمایش زمین می باشد تا با توجه به قوانین حاکم بر کشورهای مختلف، بهترین تصمیم گیری جهت سرمایه گذاری انجام پذیرد. در واقع، با استفاده از این روش، می توان سرمایه گذاری را به سمت روش ها و تجهیزاتی سازگارتر با محیط زیست هدایت کرد، که این خود باعث ایجاد پیشرفت در تجهیزات سازگار با محیط زیست می گردد.

واژه های کلیدی: اولویت بندی، تجهیزات بازیافت انرژی، روش تحلیل شبکه ای، کوره رنگ خودرو، آلودگی زیست محیطی، گرمایش زمین، مدیریت انرژی.

[۴]. در سال ۱۹۹۶، روش دیگری به نام ANP^۱ را که کامل‌تر و عمومیت‌یافته‌تر از روش AHP است، معرفی کرد. فرآیند تحلیل شبکه‌ای، روش جامع و قدرتمندی برای تصمیم‌گیری‌های دقیق، با استفاده از اطلاعات تجربی و قضاوت‌های شخصی تصمیم‌گیرنده در اختیار می‌گذارد، و با فراهم آوردن یک ساختار برای سازماندهی معیارهای متفاوت و ارزیابی اهمیت و ارجحیت هر یک از آن‌ها نسبت به گزینه‌ها، فرآیند تصمیم‌گیری را آسان می‌کند. این مدل تصمیم‌گیری، از ماتریس مقایسه‌های زوجی برای دستیابی به مقیاس‌های نسبی استفاده می‌کند و از هر سه روش کیفی، کمی و مقایسه‌ای به صورت هم‌زمان برای جمع‌آوری داده‌ها و تحلیل نتایج بهره می‌گیرد. در ANP بین خوشه و عناصر و هر یک از آن‌ها نسبت به هم و بالعکس می‌تواند وابستگی و یا بازخور وجود داشته باشد [۵]. بل ترن و همکاران در سال ۲۰۰۹، برای انتخاب بهترین موقعیت مکانی برای ساخت کارخانه بازیافت زباله شهری با توجه به معیارهای اقتصادی، فنی، اجتماعی، زیست‌محیطی و قانونی در اطراف شهر والنسیا، از روش تحلیل شبکه‌ای استفاده کردند. در این تحلیل، از ۶ معیار (خوشه) و ۲۱ عنصر که توسط کارشناسان مسئله بازیافت زباله‌های شهری در نظر گرفته شده، مورد بررسی قرار گرفت که در نهایت، بهترین مکان برای انتخاب کارخانه بازیافت زباله شهری مشخص گردید [۶].

در مقاله حاضر، سعی بر به کارگیری روش تحلیل فرآیند شبکه‌ای برای انتخاب مناسب‌ترین تجهیزات بازیافت انرژی کوره‌رنگ خودرو در جهت اهداف اقتصادی، زیست‌محیطی و گرمایش زمین است. در واقع با استفاده از روش مذکور می‌توان سرمایه‌گذاری را به سمت صنایع و تجهیزاتی سازگارتر با محیط زیست هدایت کرد. این امر باعث رشد صنایع و تکنولوژی‌های جدید در راستای سازگاری با محیط زیست خواهد شد. در واقع، منظور ارائه مدلی جهت اولویت‌بندی تجهیزات بازیافت انرژی در کوره‌رنگ خودرو بر اساس معیارهای اقتصادی، زیست‌محیطی و گرمایش زمین با استفاده از روش ANP است تا بر اساس نتایج به دست آمده، سرمایه‌گذاری‌های آتی در تجهیزات بازیافت انرژی با توجه به اهمیت فاکتورهای اقتصادی، آلودگی زیست‌محیطی و گرمایش زمین در راستای رشد صنایع و تکنولوژی سازگار با محیط زیست صورت گیرد.

۲. مدل‌سازی و ایجاد ساختار تحلیل فرآیند شبکه‌ای

برای تجهیزات بازیافت انرژی

ساختار ANP در شکل (۱) از چهار خوشه تجهیزات بازیافت انرژی، فاکتورهای اقتصادی، فاکتورهای زیست‌محیطی و فاکتورهای گرمایش زمین تشکیل شده است. هدف این ساختار، اولویت‌بندی کردن تجهیزات بازیافت انرژی کوره‌رنگ خودرو است. در ساختار فوق، خوشه اقتصادی، زیست‌محیطی و گرمایش زمین نسبت به خودشان

با رشد جمعیت جهان، بالا رفتن سرانه مصرف انرژی، محدود بودن منابع ذخایر انرژی تجدیدناپذیر، گران بودن استحصال و بهره‌برداری از انواع انرژی در جوامع امروزی از یک طرف، و آلودگی زیست‌محیطی و گرمایش زمین ناشی از تولید گازهای آلوده‌کننده و گلخانه‌ای ناشی از احتراق سوخت‌ها از طرف دیگر، چگونگی مصرف انرژی را به صورت مسئله‌ای بزرگ و پراهمیت درآورده است. عدم به کارگیری روش‌های صحیح مدیریتی، علمی و همچنین عدم سرمایه‌گذاری صحیح متناسب با شاخص‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و گرمایش زمین باعث ایجاد ناهنجاری‌های زیادی در جنبه‌های مختلف زندگی انسانی و محیط زیست اطراف او می‌شود، لذا ایجاد روش‌ها و راه‌کارهایی برای مدیریت بهتر سرمایه‌گذاری در جهتی که همه جنبه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و گرمایش زمین را در بر بگیرد، ضروری است. در دنیای امروزی، باید سرمایه‌گذاری انجام شده در به کارگیری تجهیزات بازیافت انرژی برای هر دستگاه یا تجهیزات به صورت هوشمندانه و با توجه به فاکتورهای مهم برای جوامع انسانی و محیط زیست صورت گیرد، لذا برای مدیریت هوشمندانه کارخانه‌ها و مراکز صنعتی بزرگ، ارائه روش‌ها و راه‌کارهایی جهت مدیریت بهتر سرمایه‌گذاری‌ها در راستای منافع اقتصادی، کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و گرمایش زمین ضروری است.

در سال ۱۹۷۸، ابتدا نورمن بردشو، روشی برای جمع‌آوری گازهای گرم خروجی از کوره پخت رنگ ابداع کرد. در این روش توسط کانال‌هایی، گرمای تابشی ناشی از کوره رنگ، هرگونه نشی گرمایی و همچنین گاز خروجی از دودکش کوره را به داخل کلکتور در امتداد کوره رنگ ارسال کرده تا توسط مبدل حرارتی که در مسیر هوای سرد بیرون قرار گرفته، تبادل حرارت کند و در نهایت، مقداری از انرژی مصرفی در کوره را بازیافت کند [۱]. در سال ۱۹۹۱، لیف و همکاران، روش تهویه کوره پخت رنگ برای بهتر شدن نتایج روی مؤلفه‌های پخت رنگ را بررسی کردند. در این روش، مقدار جریان هوایی که برای تهویه ناشی از پخت محلول‌ها و رزین‌های رنگ در داخل کوره به کار رفت، متناسب با مقدار هوای تازه‌ای بود که از ایرسیل‌ها در طول کوره رنگ وارد شده، و در نهایت تأثیر تهویه کوره روی مؤلفه پخت رنگ بررسی شده است [۲]. در سال ۱۹۹۴ فارنن، روشی را برای بهتر شدن پخت رنگ خودرو ابداع کرد که در آن، هوای گرم توسط مبدل حرارتی به طور غیرمستقیم گرم شده و توسط فن و سیستم داکت از طریق نازل‌های قابل تنظیم روی سطح خودرو دمیده شده تا باعث سریع‌تر خشک شدن رنگ سطح خودرو گردد [۳].

در سال ۱۹۸۰، اولین بار ساعتی روشی به نام AHP^۱ را ابداع کرد که در آن روش، تصمیم‌گیری‌هایی چند معیاره با توجه به فاکتورهای زیاد مؤثر در تصمیم‌گیری به روشی مناسب و مطلوب مورد تحلیل قرار گرفت

تجهیزات بازیافت انرژی با توجه به فاکتورهای اقتصادی، زیست محیطی و گرمایش زمین اولویت بندی شده است. در نهایت، تأثیر قوانین زیست محیطی بر روی اولویت بندی و انتخاب تجهیزات بازیافت انرژی را خواهیم دید.

۱.۳. بررسی و تحلیل انرژی مصرفی در کوره رنگ خودرو و محاسبه ظرفیت مبدل و مشعل

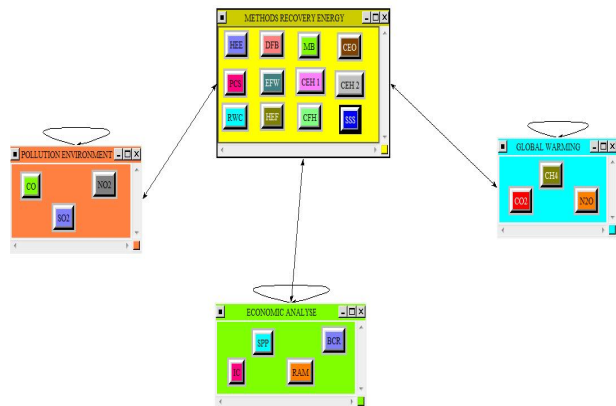
۱.۱.۳. مشخصات ابعاد کوره رنگ خودرو

طول کل کوره ۲۵ m، عرض کوره ۳/۳ m، ارتفاع ۲/۷ m، ضخامت ورق داخلی ۱/۵ میلی متر، ضخامت ورق خارجی ۱ میلی متر، جنس ورق گالوانیزه و پشم و سنگ ۱۵۰ میلی متر با چگالی ۸۰ کیلوگرم بر متر مکعب است. در شکل (۲) چیدمان کوره رنگ نمایش داده شده است [۷].

۲.۱.۳. مشخصات و شرایط کارکردی کوره پخت رنگ

- مقدار تخلیه گازهای کوره ۳۰۰۰ مترمکعب بر ساعت.
- سرعت نقاله خط کوره ۱ متر بر دقیقه.
- طول نقاله ۲۵ متر.
- وزن هر متر مربع نقاله ۴۰ کیلوگرم.
- وزن بدنه خودرو ۷۰۰ کیلوگرم.
- دمای محیط کار اطراف کوره با توجه به اینکه کل خط رنگ داخل سالن با کنترل دمایی قرار دارد، ۲۰ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شده است.
- میزان مصرف گاز برای کوره رنگ خودرو با ۱۶ ساعت کاری ۷۰۲ متر مکعب در روز.
- میزان مصرف برق برای کوره رنگ خودرو با ۱۶ ساعت کاری ۹۸۳ کیلووات ساعت در روز.

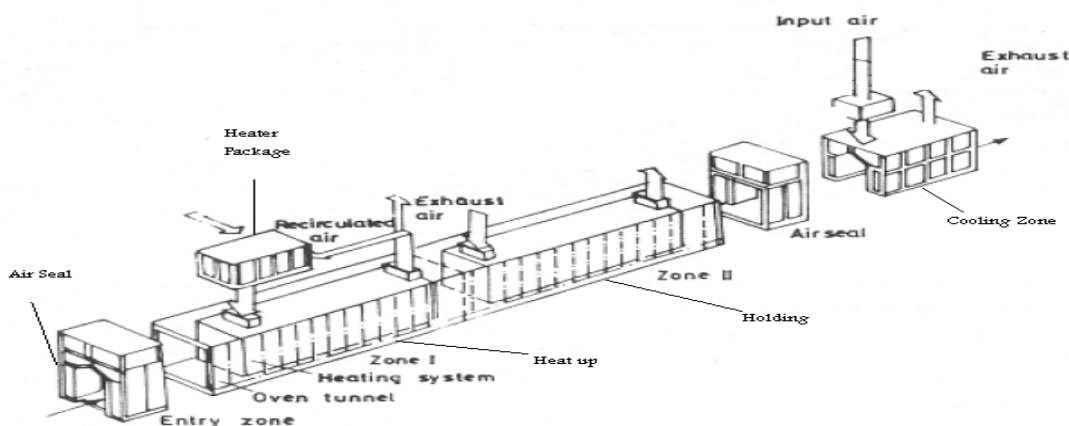
حالت وابستگی داخلی دارند (عناصر تشکیل دهنده آنها به هم وابستگی دارند). خوشه تجهیزات بازیافت انرژی در کوره رنگ نسبت به خوشه های اقتصادی، زیست محیطی و گرمایش زمین دارای وابستگی خارجی به صورت بازخور هستند.



شکل (۱): ساختار تحلیل فرآیند شبکه ای تجهیزات بازیافت انرژی

۳. روش تحقیق

برای این منظور، کوره رنگ خودرو در پنج مرحله مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. در مرحله اول، مقدار بار گرمایی مورد نیاز کوره رنگ خودرو محاسبه می شده، و متناسب با آن، ظرفیت مبدل حرارتی و مشعل تعیین می گردیده است. در مرحله دوم، با توجه به پتانسیل های کاهش مصرف سوخت کوره رنگ خودرو، انواع تجهیزات بازیافت انرژی، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است؛ در مرحله سوم، فاکتورهای اقتصادی (هزینه اولیه، بازگشت سرمایه، هزینه تعمیرات و نگهداری و نسبت سود به هزینه) در نظر گرفته شده برای تجهیزات بازیافت انرژی، بررسی و تحلیل شده است؛ در مرحله چهارم، فاکتورهای آلودگی زیست محیطی و گرمایش زمین برای هر یک از تجهیزات بازیافت انرژی مورد ارزیابی قرار گرفته است؛ در مرحله پنجم، با استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه ای و نرم افزار سوپر دیزاین



شکل (۲): ساختار کلی کوره رنگ خودرو [۸]

۳.۱.۳. محاسبه و تحلیل انرژی کوره‌رنگ خودرو

با قرار دادن دو مبدل حرارتی ظرفیت هر مشعل به قرار زیر است:

$$Q_B = 1443/13 \text{ kw} / 2 = 721/57 \text{ kw}$$

در جدول (۱)، بار حرارتی مورد نیاز برای قسمت‌های مختلف کوره‌رنگ خودرو، مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد [۸].

جدول (۱): محاسبه بار حرارتی برای کوره پخت رنگ

میزان انرژی مصرفی بر حسب کیلو وات	اجزای کوره جهت محاسبه بار حرارتی
۱۷/۱۲۳	محاسبه مقدار انرژی لازم برای گرم کردن هوای موجود در کوره
۱۶۳/۸۶	محاسبه مقدار انرژی لازم برای گرم کردن خودرو
۱۰۰/۴۷	محاسبه مقدار اتلاف حرارتی ناشی از ورود هوای تازه به کوره
۲۷۵/۱۱	مقدار انرژی لازم برای گرم کردن ورق بدنه داخلی کوره
۱۹/۰۳۶	مقدار انرژی لازم برای گرم کردن ورق بدنه خارجی کوره
۷۷/۳۷	مقدار انرژی لازم برای گرم کردن پشم و سنگ کوره
۴۳	مقدار انرژی جذب شده توسط دی جرمی نقاله به داخل کوره
۸۰/۸۳	مقدار انرژی جذب شده توسط نقاله داخل کوره
۹/۹۷۹	اتلاف حرارتی ناشی از هدایت و کنوکسیون کوره
۴/۵۴۲	اتلاف حرارتی ناشی از تشعشع کوره
۳۳۰/۳	مقدار انرژی جذب شده توسط کلاف‌بندی بدنه کوره
۱/۸۵۴	محاسبه مقدار انرژی لازم برای گرم کردن هوای موجود در کابین مبدل
۲۴	مقدار انرژی لازم برای گرم کردن ورق بدنه داخلی کابین مبدل
۱۵/۸۱	مقدار انرژی لازم برای گرم کردن پشم و سنگ کابین مبدل
۱/۹۴۲	مقدار انرژی لازم برای گرم کردن ورق بدنه خارجی کابین مبدل
۱۷۳/۳۳	مقدار انرژی لازم برای گرم کردن لوله‌های مبدل
۱/۹۴۷	اتلاف حرارتی ناشی از هدایت و کنوکسیون کابین مبدل
۸/۹۴	مقدار انرژی لازم برای گرم کردن پروانه بادزن
۰/۸۸۳	اتلاف حرارتی ناشی از تشعشع کابین مبدل
۴۶/۵۸	مقدار انرژی جذب شده توسط کلاف‌بندی بدنه کابین مبدل

۲.۳. تحلیل تجهیزات بازیافت مصرف انرژی برای کوره

در جدول (۲)، تجهیزات بازیافت انرژی برای کوره‌رنگ خودرو و میزان صرفه‌جویی برای هر وسیله به دست آمده است.

جدول (۲): تجهیزات بازیافت انرژی و مقدار صرفه‌جویی انجام شده برای کوره پخت رنگ

میزان هزینه صرفه جویی در سال بر حسب دلار	میزان صرفه‌جویی در مصرف گاز بر حسب متر مکعب در سال	میزان صرفه‌جویی انرژی در روز بر حسب کیلووات ساعت	نام تجهیزات جهت بهینه کردن مصرف انرژی
۱۲۸۳/۱	۳۱۸	۳۲/۹	استفاده از الکتروموتور با کارایی بالا به جای الکتروموتورهای استاندارد [۹]
۲۰۰۷۶	۱۹۱/۲	۱۹۷۸/۳	بررسی نصب مبدل حرارتی شعله مستقیم با مشعل نوع ۷ [۱۰]
۷۸۹۶	۷۵/۲	۷۲۶۴/۲	استفاده از مشعل مدولار با کارایی بالا [۱۱]
۳۷۳۰/۷	۳۵/۵۳	۳۶۷/۶	استفاده از سیستم کنترل اکسیژن اضافه احتراق مشعل [۱۲]
۱۹۲۱/۵	۱۸/۳	۱۸۸/۹	استفاده از سیستم کنترل موازی احتراق مشعل [۱۳]
۳۷۳۰/۷	۳۵/۵۳	۳۶۷/۶	نصب مبدل بازیافت تغذیه آب اولیه [۱۴]
۱۰۱۶۸	۹۶/۸۴	۱۰۰۲	نصب مبدل بازیافت کندانس با کارایی بالا با دمای آب خروجی ۱۲۲ °C [۱۵]
۱۲۲۸۵	۱۱۷	۱۲۱۱	نصب مبدل بازیافت کندانس با کارایی بالا با دمای آب خروجی ۱۰۴ °C
۸۶۹/۴	۸/۲۸	۸۵/۶۳	استفاده از فولاد ضدزنگ به جای ورق گالوانیزه در بدنه کوره [۱۶]
۳۰۴۲	۷۵۳/۸۴	۷۸	استفاده از بادزن با کارایی بالاتر
۷۰۸۰/۱۵	۶۷/۴۳	۶۹۷/۷	میزان صرفه‌جویی ناشی از نصب مبدل جریان مخالف در تخلیه گازهای کوره [۱۷]
۷۵۶/۷	۲۱۶۲	۷۴/۵۶۵	میزان صرفه‌جویی ناشی از کم کردن وزن نقاله

۳.۳. تحلیل مفاهیم اقتصادی برای تجهیزات مصرف انرژی

در کوره رنگ خودرو

۱.۳.۳. مفروضات در نظر گرفته شده برای تحلیل مفاهیم اقتصادی

مدت زمان بررسی عملکرد اقتصادی ۱۰ ساله است.

هر دلار، ۱۱۵۰۰ ریال و هر یورو، ۱۷۰۰۰ ریال در نظر گرفته شده

است. قیمت هر کیلووات ساعت برق ۱۳ سنت و قیمت هر مترمکعب

گاز ۳۵ سنت در نظر گرفته شده است.

هزینه تعمیرات و نگهداری، شامل هزینه تعمیرات پیشگیرانه و

تعمیرات فوری و بر اساس اطلاعات گذشته شرکت ماشین‌سازی

نیرومحرکه معادل ۴٪ تا ۵٪ هزینه اولیه ثابت دستگاه است [۱۸].

در جدول (۳)، فاکتورهای اقتصادی برای تجهیزات بازیافت انرژی

کوره رنگ خودرو محاسبه شده است.

جدول (۳): محاسبه فاکتورهای اقتصادی برای تجهیزات بازیافت انرژی کوره رنگ خودرو [۱۹]

نام وسیله بازیافت انرژی برای کوره رنگ خودرو	هزینه اولیه بر حسب دلار	هزینه تعمیرات و نگهداری بر حسب دلار	بازگشت سرمایه	سود به هزینه
استفاده از الکتروموتور با کارایی بالا به جای الکتروموتورهای استاندارد (HEE)	۱۴۵۰	۶۰	۱/۱۹	۳/۸۵
نصب مبدل شعله مستقیم با مشعل نوع V (DFB)	۴۱۰۰۰	۱۶۵۰	۲/۲۳	۲/۱۵
استفاده از مشعل مدولار با کارایی بالا (MB)	۲۴۰۰۰	۹۶۰	۳/۴۶	۱/۴۴
استفاده از سیستم کنترل اکسیژن اضافه احتراق مشعل (CEO)	۱۹۰۰۰	۷۶۰	۶/۴۵	۰/۸۶
استفاده از سیستم کنترل موازی احتراق مشعل (PCS)	۸۵۰۰	۳۴۰	۵/۳۷	۰/۹۹
استفاده از سیستم نصب مبدل بازیافت تغذیه آب اولیه (EFW)	۱۰۵۰۰	۵۲۰	۳/۲۷	۱/۴۶
نصب مبدل بازیافت کندانس با کارایی بالا با دمای آب خروجی 122°C (CEH_1)	۲۱۶۰۰	۸۶۵	۲/۳۲	۲/۰۷
نصب مبدل بازیافت کندانس با کارایی بالا با دمای آب خروجی 104°C (CEH_2)	۲۱۶۰۰	۸۶۵	۱/۸۹	۲/۵
فولاد ضدزنگ به جای ورق گالوانیزه در بدنه داخلی کوره (SSS)	۴۱۵۰	۰	۴/۷۷	۱/۲۹
استفاده از بادزن با کارایی بالاتر (HEF)	۳۱۰۰	۱۲۴	۱/۰۶	۴/۳۱
نصب مبدل جریان مخالف در دودکش خروجی کوره (CFH)	۲۶۰۰۰	۷۰۰	۴/۰۸	۱/۳۲
کم کردن وزن نقاله (RWC)	۲۸۹۰	۰	۳/۸۲	۱/۶۱

۴.۳. تحلیل فاکتورهای زیست‌محیطی و گرمایش زمین تجهیزات بازیافت انرژی کوره رنگ خودرو

در جدول (۴) و (۵)، فاکتورهای زیست‌محیطی و گرمایش زمین برای تجهیزات بازیافت انرژی کوره رنگ خودرو محاسبه شده است.

جدول (۴): میزان کاهش آلودگی زیست‌محیطی ناشی از به کارگیری تجهیزات بازیافت در طی یک سال برای کوره رنگ خودرو [۲۰]

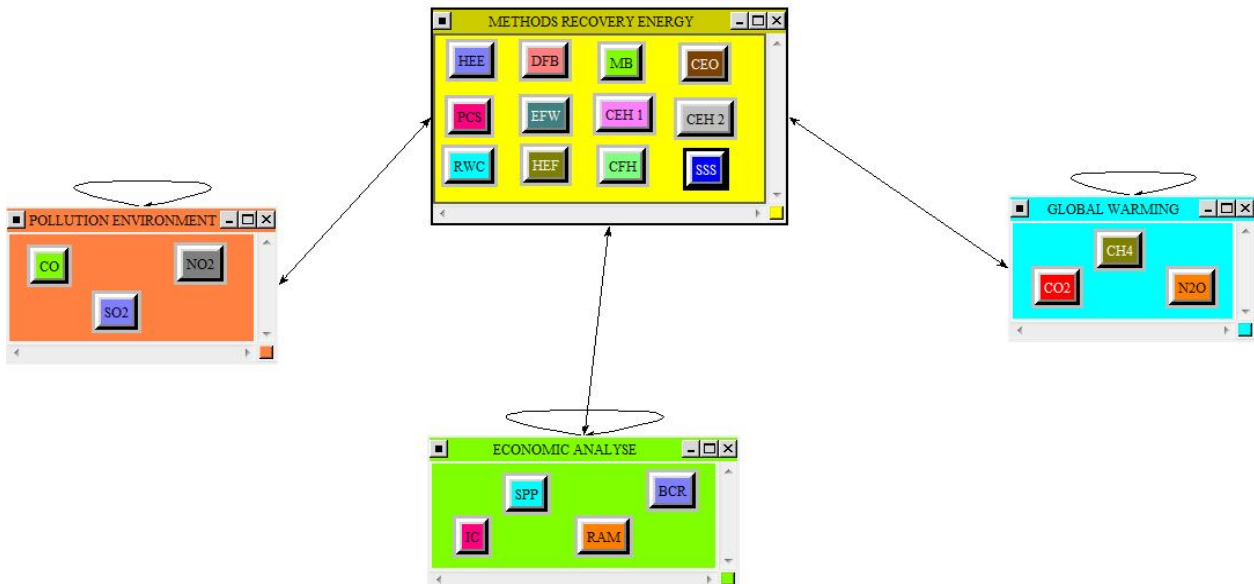
نام وسیله بازیافت انرژی برای کوره رنگ خودرو	کاهش آلودگی CO بر حسب گرم	کاهش آلودگی SO ₂ بر حسب گرم	کاهش آلودگی NO ₂ بر حسب گرم
استفاده از الکتروموتور با کارایی بالا به جای الکتروموتورهای استاندارد (HEE)	۴۲۷/۴	۳/۱	۵۰۸/۸
نصب مبدل شعله مستقیم با مشعل نوع وی (DFB)	۷۷۰۹۲	۵۵۰/۶۶	۹۱۷۷۶
استفاده از مشعل مدولار با کارایی بالا (MB)	۳۰۳۲۱	۲۱۶/۶	۲۱۶۸۸۴
استفاده از سیستم کنترل اکسیژن اضافه احتراق مشعل (CEO)	۱۴۳۲۵/۷	۱۰۲/۳	۵۵۱۱۶
استفاده از سیستم کنترل موازی احتراق مشعل (PCS)	۷۳۷۸/۶	۵۲/۷	۴۷۶۷۳
استفاده از سیستم نصب مبدل بازیافت تغذیه آب اولیه (EFW)	۱۴۳۲۵/۷	۱۰۲/۳	۱۷۰۵۴/۴
نصب مبدل بازیافت کندانس با کارایی بالا با دمای آب خروجی 122°C (CEH_1)	۳۹۰۴۶	۲۷۹	۴۶۴۸۳/۲
نصب مبدل بازیافت کندانس با کارایی بالا با دمای آب خروجی 104°C (CEH_2)	۴۷۱۷۴/۴	۳۳۷	۵۶۱۶۰
فولاد ضدزنگ به جای ورق گالوانیزه در بدنه داخلی کوره (SSS)	۳۳۳۸/۵	۲۳/۸۵	۳۹۷۴/۴
استفاده از بادزن با کارایی بالاتر (HEF)	۱۰۱۳/۱	۷/۲۴	۱۲۰۶/۱
نصب مبدل جریان مخالف در خروجی کوره (CFH)	۲۷۱۸۷/۸	۱۹۴/۲	۳۲۳۶۷/۴
کم کردن وزن نقاله (RWC)	۲۹۰۵/۷	۲۰/۷۶	۳۴۵۹/۲

جدول (۵): میزان کاهش گازهای گلخانه‌ای ناشی از به کارگیری تجهیزات بازیافت در طی یکسال برای کوره‌رنگ خودرو [۲۱]

نام وسیله بازیافت انرژی برای کوره‌رنگ خودرو	کاهش گاز گلخانه‌ای CO ₂ بر حسب گرم	کاهش گاز گلخانه‌ای CH ₄ بر حسب گرم	کاهش گاز گلخانه‌ای N ₂ O بر حسب گرم
استفاده از الکتروموتور با کارایی بالا به جای الکتروموتورهای استاندارد (HEE)	۶۱۰۵۶۰	۱۱/۷	۱۱/۲
نصب مبدل شعله مستقیم با مشعل نوع وی (DFB)	۱۱۰۱۳۱۲۰۰	۲۱۱۱	۲۰۱۹
استفاده از مشعل مدولار با کارایی بالا (MB)	۴۳۳۱۵۲۰۰	۸۳۰	۳۱۰۸
استفاده از سیستم کنترل اکسیژن اضافه احتراق مشعل (CEO)	۲۰۴۶۵۲۸۰	۳۹۲/۳	۳۵۲/۷
استفاده از سیستم کنترل موازی احتراق مشعل (PCS)	۱۰۵۴۰۸۰۰	۲۰۲	۳۰۵
استفاده از سیستم نصب مبدل بازیافت تغذیه آب اولیه (EFW)	۲۰۴۶۵۲۸۰	۳۹۲/۳	۳۷۵/۲
نصب مبدل بازیافت کندانس با کارایی بالا با دمای آب خروجی ۱۲۲ (CEH ₁)	۵۵۷۷۹۸۴۰	۱۰/۶۹	۱۰۲۲/۶
نصب مبدل بازیافت کندانس با کارایی بالا با دمای آب خروجی ۱۰۴ (CEH ₂)	۶۷۳۹۲۰۰۰	۱۲۹۲	۱۲۳۵/۵
فولاد ضدزنگ به جای ورق گالوانیزه در بدنه داخلی کوره (SSS)	۴۷۶۹۲۸۰	۹۱/۴	۸۷/۴۴
استفاده از بادزن با کارایی بالاتر (HEF)	۱۴۴۷۲۹۶	۲۷/۷۴	۲۶/۵۳
نصب مبدل جریان مخالف در دودکش خروجی کوره (CFH)	۳۸۸۳۹۶۸۰	۷۴۴/۴	۷۱۲/۱
کم کردن وزن نقاله (RWC)	۴۱۵۱۰۴۰	۷۹/۶	۷۶/۱

فاکتورهای اقتصادی، آلودگی محیط زیست و گرمایش زمین که در شکل (۳) آمده است.

۳.۵. ساختار شبکه‌ای بین تجهیزات بازیافت انرژی نسبت به فاکتورهای اقتصادی، آلودگی محیط زیست و گرمایش زمین ایجاد ساختار شبکه‌ای بین تجهیزات بازیافت انرژی نسبت به



شکل (۳): ساختار تحلیل فرآیند شبکه‌ای برای تجهیزات بازیافت انرژی با توجه به معیارهای اقتصادی، زیست‌محیطی و گرمایش زمین

۱.۵.۳. عناصر و خوشه‌های شبکه

در جدول (۶)، عناصر و خوشه‌ها در قالب خروجی نرم‌افزار مشخص شده است.

جدول (۶): عناصر و خوشه‌ها

عناصر	خوشه
مبدل بازیافت کندانس با کارایی بالا (CEH ₁)	تجهیزات بازیافت انرژی
مبدل بازیافت کندانس با کارایی بالا (CEH ₂)	
سیستم کنترل اکسیژن اضافه (CEO)	
مبدل حرارتی با جریان مخالف (CFH)	
مشعل شعله مستقیم (DFB)	
مبدل بازیافت با تغذیه آب (EFW)	
الکتروموتور با کارایی بالا (HEE)	
فن با کارایی بالا (HEF)	
مشعل مدولار (MB)	
سیستم کنترل موازی (PCS)	
کاهش وزن کانوایر (RWC)	
فولاد ضدزنگ (SSS)	
نسبت سود به هزینه (BCR)	
هزینه اولیه (IC)	
هزینه تعمیرات و نگهداری (RAM)	
هزینه دوره بازگشت سرمایه (SPP)	
گاز منواکسید کربن (CO)	گازهای آلوده‌کننده محیط زیست
گاز دی اکسید نیتروژن (NO ₂)	
گاز دی اکسید گوگرد (SO ₂)	
گاز متان (CH ₄)	گازهای گلخانه‌ای
گاز دی اکسید کربن (CO ₂)	
گاز اکسید دی نیتروژن (N ₂ O)	

۲.۵.۳. مقایسات زوجی و محاسبه بردارهای اولویت و نرخ

ناسازگاری خوشه‌ها نسبت به هم

در این تحلیل، مقدار امتیاز داده شده بر اساس دیدگاه سه تن از خبرگان صنایع رنگ خودرو (برای کشور ایران) بر اساس روش دلفی و در طی چهار مرحله نظرخواهی جهت همگرایی نتیجه حاصل گردید. در این نظرخواهی برای خوشه اقتصادی ۱۰۰، برای خوشه زیست‌محیطی ۳۰ و برای خوشه گرمایش‌زمین ۱۰ در نظر گرفته شده است. لازم به توضیح است که امتیازدهی خوشه‌های فوق بر حسب اهمیت قوانین هر کشور به محیط زیست متفاوت است.

۳.۵.۳. مقایسات زوجی و محاسبه بردارهای اولویت و نرخ

ناسازگاری فاکتورهای خوشه اقتصادی

در این تحلیل، مقدار عددی برای فاکتورهای اقتصادی با توجه به نظریات کارشناسان و متخصصان به ترتیب ذیل، جهت مقایسات جفتی عددگذاری می‌گردند. هزینه اولیه ۵۰ امتیاز، بازگشت سرمایه ۶۰ امتیاز، نسبت سود به هزینه ۹۰ امتیاز و برای تعمیرات و نگهداری ۳۰ امتیاز در نظر گرفته شده است. امتیازدهی فاکتورهای اقتصادی فوق، حاصل

نظریات سه نفر از اساتید اقتصاد دانشگاه مازندران است که بر اساس روش دلفی و در طی سه مرحله نظرخواهی جهت همگرایی نتیجه ایجاد گردید.

۴.۵.۳. مقایسات زوجی و محاسبه بردارهای اولویت و نرخ

ناسازگاری فاکتورهای خوشه زیست‌محیطی

در این تحلیل، مقدار عددی برای فاکتورهای زیست‌محیطی با توجه به نظریات کارشناسان و متخصصان به ترتیب ذیل، جهت مقایسات جفتی عددگذاری می‌گردند. گاز دی اکسید گوگرد ۶۰ امتیاز، گاز مونوکسید کربن ۳۰ امتیاز و برای گاز دی اکسید نیتروژن ۱۰۰ امتیاز در نظر گرفته شده است [۲۲].

۵.۵.۳. مقایسات زوجی و محاسبه بردارهای اولویت و نرخ

ناسازگاری فاکتورهای خوشه گرمایش‌زمین

در این تحلیل، مقدار عددی فاکتورهای گرمایش‌زمین با توجه به نظریات متخصصان به ترتیب ذیل، جهت مقایسات جفتی عددگذاری می‌گردند. گاز دی اکسید کربن ۱ امتیاز، گاز متان ۲۱ امتیاز و برای گاز اکسید دی نیتروژن ۳۱۲ امتیاز در نظر گرفته شده است [۲۱].

۶.۵.۳. مقایسات زوجی و محاسبه بردارهای اولویت و نرخ

ناسازگاری فاکتورهای خوشه تجهیزات بازیافت انرژی نسبت به فاکتورهای خوشه اقتصادی و بالعکس

در این تحلیل، مقادیر عددی در نظر گرفته شده برای فاکتورهای خوشه تجهیزات بازیافت انرژی نسبت به فاکتورهای خوشه اقتصادی و بالعکس با توجه به مقادیر محاسبه شده صورت گرفته است.

۷.۵.۳. مقایسات زوجی و محاسبه بردارهای اولویت و نرخ

ناسازگاری فاکتورهای خوشه تجهیزات بازیافت انرژی نسبت به فاکتورهای خوشه زیست‌محیطی و بالعکس

در این تحلیل، مقادیر عددی در نظر گرفته شده برای فاکتورهای خوشه تجهیزات بازیافت انرژی نسبت به فاکتورهای خوشه زیست‌محیطی و بالعکس با توجه به مقادیر محاسبه شده صورت گرفته است.

۸.۵.۳. مقایسات زوجی و محاسبه بردارهای اولویت و نرخ

ناسازگاری فاکتورهای خوشه تجهیزات بازیافت انرژی نسبت به فاکتورهای خوشه گرمایش‌زمین و بالعکس

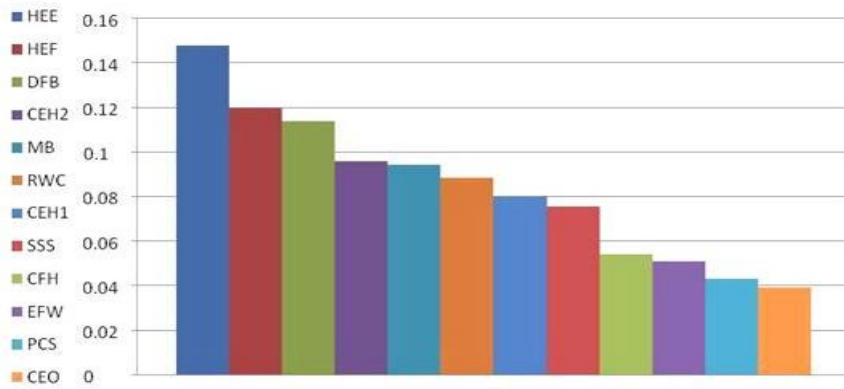
در این تحلیل، مقادیر عددی در نظر گرفته شده برای فاکتورهای خوشه تجهیزات بازیافت انرژی نسبت به فاکتورهای خوشه گرمایش‌زمین و بالعکس با توجه به مقادیر محاسبه شده صورت گرفته است.

۶.۳. نتیجه‌گیری و ترتیب اولویت تجهیزات بازیافت

نتیجه حاصل از امتیازدهی به معیارهای زیست‌محیطی، اقتصادی و

از دیدگاه سرمایه‌گذار به ترتیب تجهیزات ۱. الکتروموتور با کارایی بالا ۲. بادزن با کارایی بالا ۳. مبدل شعله مستقیم ۴. مبدل بازیافت کندانس با کارایی بالا با دمای آب خروجی ۱۰۴ درجه سانتی‌گراد ۵. مشعل با کارایی بالا از اولویت نخست جهت سرمایه‌گذاری و نصب در کوره پخت رنگ انتخاب می‌گردند.

گرمایش‌زمین که در این تحلیل، مقدار عددی برای خوشه اقتصادی ۱۰۰، برای خوشه زیست‌محیطی ۳۰ و برای خوشه گرمایش‌زمین ۱۰ (برای کشور ایران) در نظر گرفته شده است. همان‌طور که از شکل (۴) مشخص است، در صورتی که قوانین زیست‌محیطی و گرمایش‌زمین حاکم بر کشوری مانند ایران که از درجه اهمیت کمی برخوردار است،



شکل (۴): اولویت‌بندی تجهیزات بازیافت انرژی کوره‌رنگ با توجه به فاکتورهای اقتصادی و زیست‌محیطی

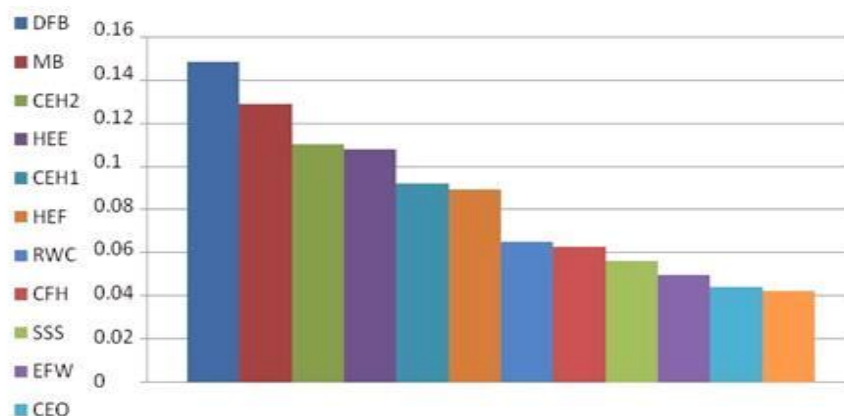
۱.۷.۳. ترتیب اولویت تجهیزات بازیافت در کشورها با فاکتورهای زیست‌محیطی و گرمایش‌زمین با درجه اهمیت متوسط

در صورتی که برای این نوع از کشورها مقادیر عددی برای خوشه اقتصادی ۱۰۰، خوشه زیست‌محیطی ۶۰ و خوشه گرمایش‌زمین ۳۰ در نظر گرفته شده باشد، در نتیجه همان‌طور که از شکل (۵) مشخص است، از دیدگاه سرمایه‌گذار به ترتیب تجهیزات ۱. مبدل شعله مستقیم ۲. مشعل با کارایی بالا ۳. مبدل بازیافت کندانس با کارایی بالا با دمای آب خروجی ۱۰۴ درجه سانتی‌گراد ۴. الکتروموتور با کارایی بالا ۵. مبدل بازیافت کندانس با کارایی بالا با دمای آب خروجی ۱۲۲ درجه سانتی‌گراد از اولویت نخست جهت سرمایه‌گذاری و نصب در کوره پخت رنگ انتخاب می‌گردند که در مقایسه با اولویت‌بندی شکل (۴) متفاوت است.

در واقع با توجه به قوانین حاکم بر ایران و نظریات سرمایه‌گذاران خبره در صنایع رنگ خودرو، تجهیزات ارائه شده بالا در اولویت سرمایه‌گذاری برای نصب در کوره پخت رنگ قرار می‌گیرند. بدیهی است در صورت اعمال قوانین سختگیرانه‌تر زیست‌محیطی اولویت‌ها جهت نصب تغییر خواهد کرد. در ادامه، آنالیز حساسیت در این خصوص را خواهیم دید.

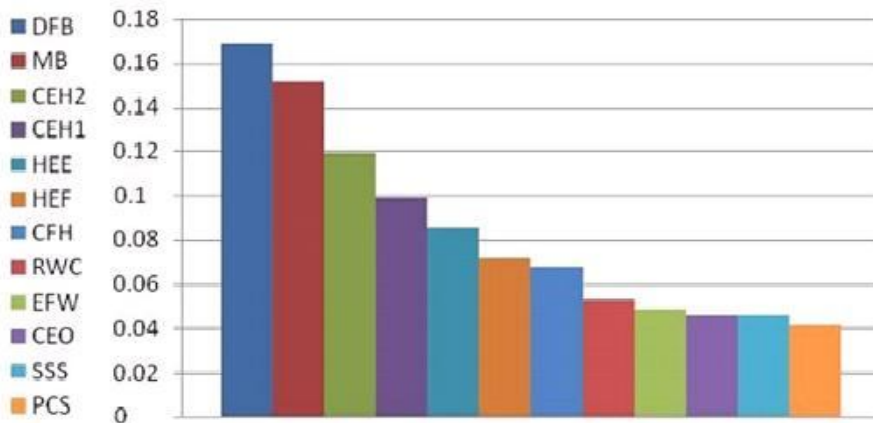
۷.۳. آنالیز حساسیت ترتیب اولویت تجهیزات بازیافت با توجه به قوانین زیست‌محیطی و گرمایش‌زمین حاکم بر کشورها

در این قسمت، سعی بر این است که نشان دهیم قوانین حاکم بر کشورها و متناسب با آن، مقادیر عددی در نظر گرفته شده برای خوشه‌های زیست‌محیطی و گرمایش‌زمین چه تأثیری بر اولویت انتخاب تجهیزات بازیافت انرژی خواهد داشت.



شکل (۵): اولویت‌بندی تجهیزات بازیافت انرژی کوره‌رنگ برای حالت دوم

گرمایش زمین ۶۰ در نظر گرفته شده باشد، طبق شکل (۶) در مقایسه با شکل (۵) به ترتیب، اولویت‌های چهارم، پنجم، هفتم، هشتم، نهم، دهم و یازدهم تغییر پیدا کرده است.



شکل (۶): اولویت‌بندی تجهیزات بازیافت انرژی کوره‌رنگ برای حالت سوم

خروجی ۱۰۴ درجه سانتی‌گراد ۴. مبدل بازیافت کندانس با کارایی بالا با دمای آب خروجی ۱۲۲ درجه سانتی‌گراد ۵. الکتروموتور با کارایی بالا و... می‌باشند. هرچند تجهیزات انتخاب شده در این حالت از نظر هزینه‌های اقتصادی نسبت به حالت اول برتری ندارند، اما از نظر آلودگی زیست‌محیطی در شرایط بهتری قرار دارند.

۳. آنالیز حساسیت انجام شده نشان می‌دهد استفاده از تجهیزات با تکنولوژی‌های جدید با هزینه بالا در صورتی که قوانین زیست‌محیطی از درجه اهمیت بالایی برخوردار باشد، توجیه‌پذیر است و این امر باعث رشد و توسعه تجهیزات سازگار با محیط زیست می‌گردد. در این زمینه، پیشنهادات زیر نیز می‌تواند به عنوان توسعه این تحقیق در آینده مد نظر قرار گیرد.

۱. روش تحلیلی ارائه شده برای کوره‌رنگ خودرو را برای کارخانجات بزرگ انرژی بر مانند شیشه‌سازی، فولادسازی، سیمان و... که هم مصرف انرژی و هم آلودگی بالایی دارند، می‌توان انجام داد.

۲. در ایجاد ساختار ANP ارائه شده می‌توان فاکتورها و خوشه‌های مهم دیگر در راستای اهداف سرمایه‌گذاری اضافه یا کم گردد.

۳. در تحلیل خوشه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و گرمایش زمین معیار مصرف سوخت گاز طبیعی است که می‌تواند با توجه به نوع سوخت مصرفی تغییر کند.

۴. از رویکرد فازی در مقایسات زوجی فاکتورهای اقتصادی، سرمایه‌گذاری می‌توان استفاده کرد و در نهایت از تحلیل ANP کمک گرفت.

۲.۷.۳. ترتیب اولویت تجهیزات بازیافت در کشورها با فاکتورهای زیست‌محیطی و گرمایش زمین با درجه اهمیت بالا

در صورتی که برای این نوع از کشورها مقادیر عددی برای خوشه اقتصادی ۱۰۰، برای خوشه زیست‌محیطی ۸۰ و برای خوشه

۴. نتیجه‌گیری

در این تحقیق، سعی شده که روشی عملی جهت اولویت‌بندی تجهیزات بازیافت انرژی با توجه به معیارهای اقتصادی، آلودگی زیست‌محیطی و گرمایش زمین ایجاد گردد تا سرمایه‌گذاری‌های آتی با توجه به اهمیت فاکتورهای اقتصادی، آلودگی زیست‌محیطی و گرمایش زمین صورت گیرد. با توجه به واقعیت‌های موجود در ایران برای یک شرکت خودروساز داخلی نتایج زیر به دست آمده است:

۱. تجهیزات بازیافت به دست آمده در شکل (۴) به ترتیب ۱. الکتروموتور با کارایی بالا ۲. بادزن با کارایی بالا ۳. مبدل شعله مستقیم ۴. مبدل بازیافت کندانس با کارایی بالا با دمای آب خروجی ۱۰۴ درجه سانتی‌گراد ۵. مشعل با کارایی بالا و... نسبت به دیگر تجهیزات برای سرمایه‌گذاری و نصب در کوره پخت رنگ در اولویت‌اند. یعنی خودروساز با توجه به هزینه مالی در نظر گرفته شده برای سرمایه‌گذاری و با توجه به نتایج فوق، به ترتیب اولویت مشخص شده می‌تواند سرمایه‌گذاری کند.

۲. با توجه به آنالیز حساسیت انجام شده، اولویت نصب تجهیزات برای سرمایه‌گذار به اهمیت تأثیر قوانین زیست‌محیطی و گرمایش زمین بستگی دارد؛ برای مثال، در صورتی که قوانین زیست‌محیطی سختگیرانه‌تری وضع گردد، اولویت سرمایه‌گذاری برای سرمایه‌گذار به ترتیب مطابق با شکل (۶) تجهیزات ۱. مبدل شعله مستقیم ۲. مشعل با کارایی بالا ۳. مبدل بازیافت کندانس (میعان) با کارایی بالا با دمای آب

مبدل شعله مستقیم	DFB
مبدل بازیافت تغذیه اولیه	EFW
الکتروموتور با کارایی بالا	HEE
بادزن با کارایی بالا	HEF
مشعل با کارایی بالا	MB
سیستم کنترل موازی احتراق	PCS
کم کردن وزن نقاله	RWC
ورق فولاد ضدزنگ	SSS

فهرست علائم

مبدل بازیافت کندانس با کارایی بالا با دمای آب خروجی ۱۲۲°C	CEH ₁
مبدل بازیافت کندانس با کارایی بالا با دمای آب خروجی ۱۰۴°C	CEH ₂
سیستم کنترل اکسیژن اضافه	CEO
مبدل جریان مخالف	CFH

مراجع

- [1] Bradshaw, N. F., "Method and Ducting System for Hot Gas Heat Recovery", Schweitzer Industrial Corporation, Appl. No. 5, pp. 851-971, 1981.
- [2] Leif, E. B., "Method and Apparatus for Ventilating a Paint Baking Oven", Abb Flakt inc, Appl. No. 7, pp. 716-751, 1994.
- [3] Farnan, R. S., "Advance Cure Paint SprayBooth", Ransburg Corporation, Appl. No. 8, pp. 267- 789 ,1995.
- [4] Saaty, T. L., "Fundamentals of The Analytic Network Process", Proceeding of ISHP,Kobe, Japan , PP.48-63, 1999.
- [5] Saaty, T. L., "Decision Making With The Analytic Hierarchy Process", Int J.Services Sciences, Vol. 1, No. 1, PP. 83-98, 2008.
- [6] Beltran, A., Ferrando, p., "An Analytic Network Process Approach Municipal Solid Waste Plant", Journal of Environmental Management, Vol. 91, Issue 5, pp. 1071-1086, 2010.
- [7] Talbert, R., *Paint Technology Handbook*, Taylor & Francis Group, Fourth Edition, Tp 935. T25, 2008.
- [8] Kutz, M., *Heat Transfer Calculations*, Mc Graw-Hill, 2006.
- [9] Gilbert A. McCoy, Todd Litman, *Energy-Efficient Electric motor Selection Handbook Revision3*, Washington State Energy Office Olympia, 1993.
- [10] Geoffrey w.Mclean, *Direct Gas-Fired Air Heating Systems*, Hastings HVAC Inc, www.hastingshvac.com.
- [11] Catalogues, *A Highly Efficient Industrial Burner Built Using the Modular Principle*, Weishaupt Corporation, http://www.weishaupt-corp.com.
- [12] Biarnes, M., *Combustion*, e Instruments International llc, www.e-inst.com.
- [13] Willems, D., *Advanced System Controls & Energy Savings for Industrial Boilers*, Cleaver-Brooks Inc, 2005.
- [14] Reay, D. A., " *Low Temperature Waste Heat Recovery in the Process Industry Good Practice Guide*", Good Practice Guide No. 141, 1996.
- [15] Catalogues, *high efficiency condensing economizers*, Aic s.a. Company, http://www.myaic.com.
- [16] *Table of Emissivity of Various Surfaces for Infrared Thermometry*, Mikron Instrument Company, www.transmetra.ch.
- [17] Jakobczak, A, "Heat Recovery with a Temperature Efficiency of 95% not Rational", HLH Bd. 8, No. 11, 2007.
- [۱۸] بانک اطلاعاتی نگهداری و تعمیرات شرکت ماشین‌سازی نیرومحرکه، قزوین، شهر صنعتی البرز، ۱۳۸۹.
- [19] Kreith, F., Goswami, D., *Energy Management and Conservation Handbook*, Taylor & Francis Group, Tj 163.2.E4833, 2008.
- [20] *Emission Factor Documentation for AP-42 Section 1.4-Natural Gas combustion*, Technical Support Division, Office of Air Quality planning and Standards, U.S.Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, 1997.
- [21] Maslin, M. *Global Warming Avery Short Introduction*, Oxford University press, Newyork, 2004.
- [22] *Developed by the Wisconsin Division of Public Health, Bureau of Environmental Health*, http://www.dhs.wisconsin.gov/eh/air/pdf/NitrDioxide.pdf.