امکانسنجی و انتخاب فناوری تولید همزمان برق وحرارت (CHP) در صنایع؛ مطالعه موردی در واحدهای صنعتی استان همدان

صالح رازینی
استادیار مهندسی برق، دانشگاه بوعلی سینا (نویسنده مسئول)
s.razini@basu.ac.ir

محمدحسن مرادی
استاد مهندسی برق، دانشگاه بوعلی سینا
mh_moradi@yahoo.co.uk

تاریخ دریافت:
۱۴۰۱/۲/۸
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۴/۱۲

کلمات کلیدی:
تولید همزمان برق و حرارت،
بهره‌وری انرژی،
تحلیل سلسله مراتبی،
تقاضای صنعتی انرژی.

چکیده

یکی از روش‌های موثر در بهبود بهره‌وری سیستم انرژی، استفاده از فناوری تولید همزمان برق و حرارت (CHP) ا ست که می‌تواند بازدهی انرژی را در مولدهای برق تا دو برابر افزایش دهد. برای این منظور دسترسی به بارهای حرارتی با مشخصه مناسب در محل نصب مولدها ضروری است. بسیاری از واحدهای صـــنعتی با تقاضـــای زیاد انرژی‌های الکتریکی و حرارتی مواجه هستند که می‌توانند گزینه مناسبی برای توسعه CHP باشند. در این مقاله چارچوبی نظام‌مند و کمی برای امکانســـنجی نصـــب CHP در واحدهای صـــنعتی و انتخاب نوع فناوری CHP ارائه شـــده اســـت. در این چارچوب با دسته‌بندی صنایع و تعریف شاخص‌های کلیدی تصمیم، به کمک تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به امکان‌سنجی نصب CHP پرداخته و سپس با ارزیابی تطبیقی بین فناوری‌های CHP و فرآیندهای صـــنعتی، نوع فناوری مناسب برای هر فرآیند صنعتی تعیین شده است. مطالعه موردی در صنایع استان همدان با بازدید از واحدهای صنعتی منتخب صورت گرفته که نتایج بیانگر پتانســـیل بالای بســـیاری از صـــنایع برای بهره‌گیری از CHP اســـت. همچنین براســـاس چارچوب پیشـــنهادی موتورهای رفت و برگشـــتی در فرآیندهای صـــنعتی کم دما و توربین‌های بخار بازیاب حرارت در صـــنایع دمای بالا، به عنوان اولویت‌های توسعه تولید همزمان پیشنهاد شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-07-26]

۱ مقدمه

یکی از عوامل عمده توسعه اقتصادی جوامع صنعتی، انرژی می‌باشد. پس از افزایش قیمت نفت در سال ۱۹۷۳، کشورهای پیشرفته صنعتی مجبور شدند به مساله انرژی جدی‌تر بنگرند و این امر سرآغاز برنامه‌های تحقیقاتی کوتاه مدت در زمینه صرفه جویی و بهینه سازی مصرف انرژی و برنامه‌های میان مدت و بلند مدت در زمینه پیدا نمودن منابع جدید انرژی گردید. امروزه کشورها به بهینه سازی و مدیریت انرژی به عنوان یک منبع جدید انرژی می نگرند. در این میان استفاده از تولید همزمان برق و حرارت [۱] (CHP) یکی از راهکارهای موثر در بهینه سازی است که با هدف افزایش بازده تولید انرژی و استفاده بهینه از منابع سوخت مورد استفاده قرار می‌گیرد (رازینی و همکاران، ۱۳۹۵).

در فرآیندهای متداول تولید برق بازدهی حرارتی بسیار پایین می باشد و با توجه به نوع فناوری از زیر ۳۰ درصد تا حداکثر ۶۰ درصد متغیر است. این ارقام بیانگر ضرورت افزایش بهره وری انرژی در بخش تولید برق می‌باشد که تبدیل واحدهای نیروگاهی به CHP یکی از راهکارهای موثر در تحقق این مهم می باشد.. در این راستا دسترسی به تقاضای حرارتی با مشخصه مناسب ضروری است. به نظر می‌رسد که در بخش‌های مختلف مصرف انرژی شامل مسکونی، تجاری، عمومی، کشاورزی و صنعتی، بخش صنعت با تقاضای حرارتی بسیار زیاد و عموماً پیوسته بیشترین ظرفیت را برای توسعه CHP دارا باشد. به طوریکه در کشورهای صنعتی اکثر واحدهای تولید همزمان برق و حرارت در صنایعی نظیر صنایع غذایی، کاغذسازی، شیمی، پالایشی و صنایع فلزی نصب شده که نشانگر اهمیت و کاربرد این واحدها در صنعت می باشد (گزارش موسسه بهره وری صنعتی، ۲۰۱۵). با وجود اینکه در کشور ما نیز در سالهای اخیر به موضوع تولید پراکنده توجه بیشتری نسبت به گذشته شده است ولی معمولاً از واحدهای تولید پراکنده تنها برای تولید برق استفاده شده و بهره‌برداری از آنها به صورت CHP چندان مورد استفاده قرار نگرفته است. این مساله در استان همدان بسیار جدی تر است. استان همدان با دارا بودن حدود هزار واحد صنعتی نیاز مبرمی به استفاده از فناوری تولید همزمان برق و حرارت برای افزایش بهره‌وری سیستم انرژی مخصوصاً در بخش صنعت دارد. وجود فناوری‌های فرسوده در برخی از صنایع و مصرف بالای انرژی در آنها درکنار موقعیت جغرافیایی مناسب از لحاظ میانگین دمای نسبتاً پایین قابلیت توسعه CHP در این استان را دوچندان کرده است.

در کشورهای مختلف پژوهش های متعددی به مطالعه تولید همزمان در صنایع مختلف از جمله صنایع غذایی (ولینی و همکاران، ۲۰۲۰)، نساجی (لیت و همکاران، ۲۰۲۱)، نیشکر و الکل (آلوارو و همکاران، ۲۰۱۸)، کاغذ سازی (گامبینی و همکاران، ۲۰۱۹)، کاشی و سرامیک (برانچینی و همکاران، ۲۰۲۱) و چوب (گستاوو و همکاران، ۲۰۲۱) پرداخته اند. برخی مقالات نیز به کاربرد تولید همزمان در صنایع از زاویه نوع فناوری تولید همزمان نگریسته اند (کرتو و کستیوکو ۲۰۲۰ و حسن و همکاران ۲۰۱۸). ارزیابی و انتخاب نوع فناوری CHP متناسب با فرآیندهای صنعتی نیز موضوع مهمی است که در برخی پژوهشها مورد توجه قرار گرفته است. به عنوان نمونه زمانی نژاد و همکاران (۱۳۸۹)، به کمک تحلیل سلسله مراتبی به ارزیابی و اولویت بندی صنایع برای توسعه CHP پرداخته اند. گامبینی و ولینی (۲۰۱۹) نیز برای انتخاب وطراحی مناسب سیستم CHP روشی ارائه کرده اند که بر مبنای تقاضای انرژی در فرآیندهای صنعتی از یک طرف و عملکرد فناوریهای تولید همزمان از طرف دیگر می باشد. در همین راستا در این مقاله نیز به ارائه یک چارچوب کمّی و نظام‌مند برای امکان سنجی نصب CHP و تعیین نوع فناوری مناسب برای فرآیندهای صنعتی مختلف پرداخته شده است. هدف این پژوهش در مرحله اول ارزیابی فرآیندهای صنعتی از لحاظ امکان استفاده از CHP در آنها به کمک معرفی شاخصهای موثر تصمیم و روش تحلیل سلسله مراتبی بوده و در مرحله دوم انتخاب فناوری CHP مناسب برای صنایع دارای اولویت با مطالعه تقاضای حرارتی فرآیندهای صنعتی و تطبیق آن با مشخصه حرارتی فناوری های CHP می باشد. در بخش دوم فناوری‌های تولید همزمان برق و حرارت مطالعه خواهد شد. چارچوب پیشنهادی تصمیم گیری و انتخاب نوع فناوری تولید همزمان در بخش سوم ارائه می شود. بخش چهارم به مطالعه موردی در استان همدان اختصاص دارد. در بخش پنجم به بحث بر روی نتایج پرداخته شده و جمع بندی در بخش ششم صورت می گیرد.

[۱] Combined heat and power (CHP)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-07-26]

۲. تولید همزمان برق و حرارت

تولید همزمان برق و حرارت یا به اختصـار تولید همزمان، عبارت اسـت از تولید توأم ترمودینامیکی دو یا چند شـکل انرژی (معمولاً برق و حرارت) از یک منبع (کای و همکاران، ۲۰۱۷). استفاده هر چه بیشتر از گرمای آزاد شده در حین فرآیند احتراق سوخت، باعث افزایش بازده انرژی و کاهش مصـرف سـوخت و در نتیجه کاهش هزینه‌های مربوط به تامین انرژی می شـود. در نیروگاه‌های تولید همزمان، حرارت خروجی از واحد تولید الکتریسیته می‌تواند به عنوان تامین کننده حرارت یا برودت مورد استفاده قرار گیرد که موجب افزایش بازدهی سیستم انرژی تا ۹۰ درصد می گردد. به طور خلاصه از جمله مزایای این فناوری می توان به موارد زیر اشاره کرد (والدز و همکاران ۲۰۲۰):

افزایش کارایی انرژی از کمتر از ۵۰ درصـد به ۸۰ تا ۹۰ درصـد، تأمین حرارت مطمئن و انعطاف پذیر، حفاظت از محیط زیسـت، کاهش هزینه‌های بهره برداری با کاهش مصرف سوخت، افزایش قابلیت اطمینان و کیفیت تامین برق در صورت بروز مشکل در شبکه، افزایش پایداری و امنیت فنی سیستم قدرت و تقویت پدافند غیرعامل با تولیدات پراکنده.

البته در کنار مزایای فراوان این فناوری محدودیت هایی نیز در اسـتفاده از آنها وجود دارد که می توان به موارد زیر اشـاره کرد (والدز و همکاران ۲۰۲۰):

لزوم وجود مصرف کننده حرارتی مداوم و قابل توجه در نزدیکی نیروگاه، وابستگی به سوخت‌های فسیلی و هزینه سرمایه گذاری نسبتاً بالا.

۲,۱. تقسیم بندی روشهای CHP از دید حرارتی

فرآیندهای تولید همزمان برق و حرارت را از دید حرارتی می‌توان به فرآیندهای با چرخه صـعودی و فرآیندهای با چرخه نزولی دسته‌بندی کرد که به صورت مختصر در ادامه معرفی می‌شود.

۲,۱,۱. چرخه صعودی

در سیستمهای تولید همزمان با چرخه صعودی انرژی حاصل از احتراق سوخت، ابتدا جهت تولید قدرت (مکانیکی یا الکتریکی) به کار برده شده و حرارت اتلافی از واحد، برای حرارت گرمایشی یا فرآیندی بازیافت می گردد که به طور معمول در دما و فشار پایین می باشد. مانند موتور احتراق داخلی و توربین گازی.

۲,۱,۲. چرخه نزولی

در سیستمهای تولید همزمان با چرخه نزولی ابتدا سوخت جهت تامین حرارت مورد نیاز فرآیند استفاده می شود. سپس از باقیمانده حرارت محصولات احتراق در بویلرهای بازیافت گرما، تولید بخار شده و از آن برای تولید توان استفاده می شود. استفاده از چرخه نزولی معمولاً در فرآیندهایی مناسب است که نیاز به گرما با دمای بالا دارند. تولید توان الکتریکی در این چرخه‌ها توسط سیکل بخار یا سیکل‌هایی با سیال عامل آلی انجام می گیرد. به چنین فرآیندی مولد بخار بازیافت کننده حرارت (HRSG[1]) نیز گفته می شود

۲,۲. انواع فناوری های مورد استفاده برای CHP

نیروگاه‌های مختلفی به صورت تولید همزمان قابل بهره برداری هستند که از بین آنها پیل‌های سوختی با توجه به فناوری پیچیده و هزینه گران در شرایط کنونی کشور برای کاربردهای نیروگاهی مقرون به صرفه نیست. توسعه میکروتوربین نیز به علت قابلیت استفاده در صنایع نظامی در شـرایط تحریم با محدودیت جدی مواجه اسـت. لذا انتخاب فناوری تولید همزمان از بین سـایر گزینه های موجود شـامل توربین بخار، توربین گازی و مولدهای موتوری صـورت می گیرد. در ادامه این فناوری‌ها به اختصـار معرفی می‌گردد (رازینی و همکاران، ۱۳۹۵ و الخاتم و سلما،۲۰۰۴).

[1] Heat Recovery Steam Generator (HRSG)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-07-26]

۲,۲,۱ توربین بخار

برای تولید همزمان از توربین بخار از دو روش توربین‌های زیرکش دار و پس فشاری می توان استفاده کرد. در توربین های بخار زیرکش‌دار هدف اصلی تولید برق است و حرارت بازیافتی معمولاً برای مصارف گرمایشی کوچک استفاده شده و در سیستمهای CHP کاربرد کمتری دارد. ولی توربین‌های پس فشاری معمولاً با هدف تولید بخار برای مصارف صنعتی مورد توجه بوده و به منظور افزایش بازدهی، ابتدا بخشی از انرژی بخار برای تولید برق در توربین استفاده شده و سپس بخار خروجی از توربین به فرآیند صنعتی مورد نظر هدایت می شود.

۲,۲,۲. توربین های گازی

توربین‌های گازی در طیف گسترده ای از توان خروجی وجود دارند. منوط به نوع طراحی، نسبت حرارت به توان الکتریکی برای توربین های گازی می تواند از ۱ تا ۳ تغییر کند. این توربین‌ها برای استفاده در سیستم‌های CHP بسیار مناسب است زیرا حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد انرژی سوخت ورودی به صورت گاز داغ با دمای در حد ۴۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد از سیستم خارج می‌شود. استفاده از مولد بخار بازیافت حرات بدون مشعل، ساده ترین شکل CHP با تولید بخار است. در صورت نیاز به بخار بیشتر می‌توان از مشعل کمکی نیز استفاده نمود.

۲,۲,۳. موتورهای رفت و برگشتی

در موتورهای رفت و برگشتی، از انرژی حاصل از احتراق سوخت برای به گردش درآوردن موتور و چرخاندن ژنراتور با بازدهی الکتریکی بیش از ۴۰٪ استفاده می شود. در صورت بهره برداری از این موتورها به صورت CHP، حرارت اتلافی موتور را می توان از اگزوز، بدنه و سیستم روغنکاری استخراج کرد. موتورهای رفت و برگشتی برای نسبت حرارت به برق نسبتاً کم، درجه حرارت (کیفیت انرژی حرارتی) مورد نیاز پائین و راندمان الکتریکی بالا، استفاده می شود.

خلاصه‌ای از مشخصه های کلیدی انواع محرک های اولیه واحدهای CHP در جدول ۱ با یکدیگر مقایسه شده است.

جدول ۱: مشخصه‌های کلیدی انواع محرک های اولیه CHP

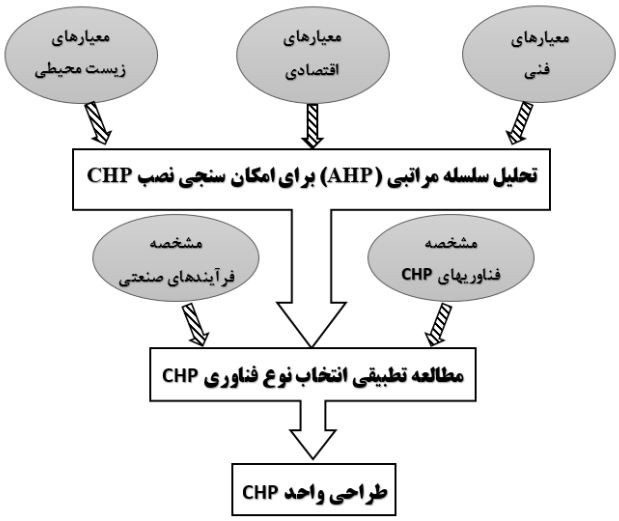
نوع CHP	مزایا	معایب	بازدهی (درصد)	دوره تعمیرات (هزار ساعت)	زمان راه اندازی	کاربرد حرارتی	ظرفیت (کیلووات)
توربین گازی	قابلیت اطمینان بالا، آلودگی کم هوا، در اختیار داشتن حرارت با درجه بالا، عدم نیاز به خنک کاری	نیاز به گاز با فشار بالا، بازدهی پایین در بار کم، افت توان خروجی با افزایش دما	الکتریکی: ۲۲ تا ۳۶ کلی:۷۰ تا ۸۰	۵۰-۲۵	۱۰ دقیقه تا یک ساعت	هوای گرم، آبگرم، بخار کم فشار، بخار پرفشار	۵۰۰ تا ۲۵۰۰۰۰
موتورهای پیستونی	راندمان انرژی الکتریکی بالا، انعطاف پذیری بهره برداری در سمت بار، راه اندازی سریع، هزینه اولیه نسبتاً پایین، قابل استفاده به صورت مجزا از شبکه، قابل بهره‌برداری در گاز با فشار پایین، قابلیت دنبال کنندگی بار	هزینه‌های تعمیرات و نگهداری بالا، محدود به کاربردهای دمای پایین، آلودگی نسبتاً بالای هوا، نیاز به خنک نمودن دستگاه حتی در صورتی عدم بازیافت حرارت، آلودگی صوتی	الکتریکی: ۲۲ تا ۴۶ کلی:۷۵ تا ۹۰	۶۰-۲۵	کمتر از دقیقه	آبگرم بخار کم فشار	معمولا کمتر از ۵ مگا وات
توربین بخار	راندمان بالا، تنوع سوخت، امکان تامین بارهای حرارتی متعدد، قابلیت اطمینان بالا، عمر بالا، نسبت برق به حرارت قابل تغییر	راه‌اندازی کند، نسبت پایین برق به حرارت،	الکتریکی: ۱۰ تا ۳۸ کلی:۷۵ تا ۸۵	بیش از ۵۰	یک ساعت تا یک روز	بخار کم فشار بخار پرفشار	۵۰ تا ۲۵۰۰۰۰

۳. چارچوب پیشنهادی

این مقاله با هدف امکانسنجی نصب CHP در واحدهای صنعتی و انتخاب نوع فناوری برای آنها به ارائه یک چارچوب تصمیم گیری در سه فاز می پردازد (شکل ۱). فاز اول چارچوب پیشنهادی به امکان سنجی نصب مولد تولید همزمان در یک واحد صنعتی اختصاص دارد. در این

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-07-26]

فاز صنایع مختلف براساس معیارهای اساسی تصمیم به کمک تحلیل سلسله مراتبی[۱] (AHP) ارزیابی و امتیازدهی می شوند که براساس این امتیازها دسته های صنعتی دارای اولویت نصب CHP شناسایی می گردد. در فاز دوم برای صنایع دارای اولویت بر اساس فرآیند صنعتی و مشخصه حرارتی آنها نوع فناوری مناسب CHP پیشنهاد می گردد. فاز سوم چارچوب تصمیم گیری مربوط به طراحی واحد تولید همزمان می باشد که مطالعات مرتبط با تعیین ظرفیت، انتخاب تجهیزات، نحوه اتصال و ... در این فاز انجام می گیرد. مطالعات این بخش به شرایط جغرافیایی و فنی واحد صنعتی و نوع قرارداد، روش کار، ارتباطات و سیاستهای پیمانکار پروژه وابسته بوده و خارج از موضوع این مقاله است. در ادامه فازهای اول و دوم چارچوب تصمیم گیری تشریح می گردد.



شکل۱: چارچوب پیشنهادی تصمیم گیری برای پروژه CHP در یک واحد صنعتی

۳,۱. فاز اول امکان سنجی

در فاز اول برای امکان سنجی نصب CHP در یک واحد صنعتی، شاخص‌های اساسی تصمیم استخراج شده و به کمک تحلیل سلسله مراتبی شاخص‌ها مقایسه و وزن دهی می شوند. سپس با دسته بندی انواع صنایع براساس نوع فرآیند صنعتی آنها، امتیاز هر واحد صنعتی در هر شاخص به صورت کیفی برآورد شده و با توجه به وزن شاخص‌ها امتیاز نهایی محاسبه می شود. این امتیاز که به صورت درصد بیان می شود بیانگر میزان مطلوبیت احداث مولد CHP برای یک واحد صنعتی است.

۳,۱,۱. شاخصها

عوامل متعددی در امکان سنجی نصب CHP دخالت دارد که می توان آنها را در قالب شاخص های فنی، اقتصادی و زیست محیطی تقسیم بندی نمود. مهمترین شاخص‌ها در هر دسته در جدول ۲ خلاصه شده است.

جدول ۲: شاخصهای تصمیم در پروژه های CHP

شاخصهای فنی	شاخصهای اقتصادی	شاخصهای زیست محیطی
• میزان تقاضای الکتریکی و حرارتی • ضریب بار الکتریکی و حرارتی • انطباق تقاضای الکتریکی و حرارتی • حساسیت به قطع برق • نوع و شدت حرارت مورد نیاز (دما و فشار) • برنامه تغییرات اساسی و یا توسعه • دسترسی به زیرساختهای شبکه	• تعرفه تامین سوخت اولیه • تعرفه فروش برق و حرارت • هزینه احداث و بهره‌برداری CHP • وجود مشوقها و مقررات تسهیلگر	• انتشار آلایندگی واحد صنعتی • انتشار آلایندگی واحد CHP • آلودگی صوتی • عدم مصرف آب توسط CHP

[۱] Analytic hierarchy process

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-07-26]

این شاخصها بر اساس وضعیت آنها در صنایع مختلف به شاخصهای عمومی و اختصاصی تقسیم شده اند. شاخصهای عمومی شاخصهایی هستند که برای همه واحدهای صنعتی شرایط تقریبا یکسانی داشته و در اولویت بندی گزینه‌ها تمایزی بین واحدهای صنعتی مختلف ایجاد نخواهد کرد. مانند تعرفه تامین سوخت یا فروش برق که برای همه واحدهای صنعتی در کشور یکسان می باشد. شاخص های اختصاصی بخش دیگری از شاخص ها است که در هر واحد صنعتی می تواند وضعیت متفاوتی داشته باشد و بنابراین در مقایسات تاثیر قابل توجهی خواهد داشت و در این مقاله ملاک ارزیابی قرار گرفته است. دسته بندی شاخصهای عمومی و اختصاصی در جدول ۳ قابل مشاهده است.

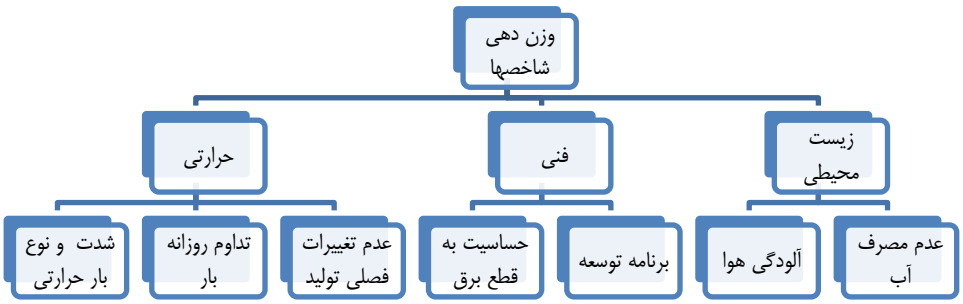
جدول ۳: دسته بندی شاخصها در قالب شاخصهای عمومی و اختصاصی تصمیم گیری

شاخصهای عمومی	شاخصهای اختصاصی
• ضریب بار و میزان تقاضای الکتریکی • انطباق تقاضای الکتریکی و حرارتی • تعرفه تامین سوخت اولیه و تعرفه فروش برق و حرارت • دسترسی به زیرساختهای شبکه • هزینه احداث و بهره برداری CHP • وجود مشوقها و مقررات تسهیلگر • انتشار آلایندگی واحد CHP • آلودگی صوتی	• شدت و نوع تقاضای حرارتی • تداوم روزانه بار حرارتی (ضریب بار روزانه حرارتی) • عدم تغییرات فصلی بار • حساسیت بارهای الکتریکی به قطع برق • برنامه تغییرات اساسی و یا توسعه • انتشار آلایندگی واحد صنعتی • عدم مصرف آب اضافی توسط CHP

۳,۱,۲. وزن دهی به شاخص‌ها

در این مطالعه برای تعیین میزان اهمیت هر شاخص از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده که از جمله روش‌های رایج تصمیم گیری چندمعیاره می‌باشد و قادر است معیارهای کمّی و کیفی را دریک چارچوب و همزمان درنظر گرفته و مقایسات بین گزینه‌های مختلف را به صورت سازمان یافته انجام دهد. در این روش برای ارزیابی گزینه‌ها، ابتدا معیارهای اصلی موثر در تصمیم انتخاب شده و سپس به گردآوری نظرات فرد یا گروه خبره در حوزه مورد نظر اقدام می شود. ارزیابی شاخص ها بر اساس یکسری مقایسات زوجی در هر سطح و توسط فرد یا گروه تصمیم گیرنده که در موضوع مورد نظر خبره می باشند، صورت پذیرفته و وزن هر یک از عوامل در راستای گزینه های رقیب مشخص می شود. مقایسات بین شاخص ها دو به دو انجام شده و در هر مقایسه گزینه مطلوبتر مشخص و میزان مطلوبیت با عددی بین یک تا ۹ تعیین می شود. این مقایسات امتیاز هر شاخص را در هر دسته تعیین می کند. در مرحله بعد اهمیت هر دسته باز هم از طریق مقایسات زوجی تعیین شده و سپس وزن کلی هر شاخص از برآیند کل مقایسات محاسبه می شود (آذر و رجب زاده، ۱۳۸۱).

در این مقاله شاخص های اختصاصی با توجه به ماهیت آنها در سه دسته به صورت درخت سلسله مراتبی شکل ۲ سازمان دهی شده است. مقایسات زوجی ابتدا در سطح پایین درون هر دسته انجام شده و سپس در سطح بالاتر بین دسته های اصلی انجام خواهد شد.



شکل ۲: درخت سلسله مراتبی مقایسات شاخصهای اختصاصی

۳,۲. فاز دوم انتخاب نوع فناوری

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-07-26]

در فاز دوم برای واحدهای صنعتی دارای اولویت، به انتخاب نوع فناوری تولید همزمان اقدام می شود. برای این منظور ابتدا به د سته بندی انواع صنایع پرداخته و مشخصه های انواع فرآیندهای صنعتی استخراج می شود. سپس با مقایسه تطبیقی تقاضای حرارتی واحدهای صنعتی و تطبیق آن با مشخصه‌های انواع CHP، مناسب ترین فناوری برای یک واحد صنعتی انتخاب می شود.

۳,۲,۱. دسته بندی صنایع

برای ارزیابی احداث CHP در صـــنایع، طبقه بندی انواع واحدهای صـــنعتی با توجّه به مشـــابهت‌هایی که به لحاظ فرایند تولید و نوع ما شین‌آلات مورد ا ستفاده دارند، ضرورت می یابد. یکی از متداول‌ترین طبقه بندی‌های صنعت، طبقه بندی ارائه شده تو سط بخش آمار سازمان ملل مو سوم به سیستم بین‌المللی طبقه‌بندی ا ستاندارد صنایع[۱] (ISIC) ا ست. در این طبقه‌بندی گروه‌های مختلف صنعتی تعریف شده و فعالیت‌های مختلف در آن‌ها طبقه بندی گردیده‌اند. به منظور سهولت انجام مقایسه، در این مقاله دسته های صنعتی فوق نیز در ۹ شاخه کلی‌تر مطابق جدول ۴ طبقه بندی شده اند.

جدول ۴: طبقه بندی دسته های صنعتی در شاخه های اصلی

	شاخه صنعتی	دسته صنعتی
۱	غذایی	صنایع غذایی
۲	نساجی	صنایع نساجی و بافندگی، پوشاک، چرم
۳	چوب و کاغذ	صنایع چوب، کاغذ، چاپ
۴	شیمایی و پتروشیمی	صنایع پتروشیمی، شیمیایی، لاستیک
۵	کانی غیرفلزی	صنایع کانی غیرفلزی
۶	کانی فلزی	صنایع کانی فلزی، تولید محصولات فلزی
۷	ماشین آلات و ابزار	صنایع تولید انواع ماشین الات، ماشین آلات اداری، خودرو، حمل ونقل
۸	برق و الکترونیک	صنایع برق، الکترونیک و مخابرات، تجهیزات پزشکی و آزمایشگاهی
۹	سایر	صنایع مبلمان و لوازم زینتی-ورزشی-سرگرمی، بازیافت، دخانیات، تولید سایر مصنوعات طبقه بندی نشده در جای دیگر

با توجه به طبقه بندی فوق در صنایع می توان انواع فرآیندهای صنعتی را بر اساس درجه حرارت مورد نیاز مطابق زیر طبقه بندی کرد:

- *فرآیندهای با دمای پایین:* در این فرآیندها دمای مورد نیاز معمولا کمتر از ۱۰۰ درجه سـانتی گراد بوده و سـیال مورد اسـتفاده معمولا به صورت هوای گرم و یا آب گرم می باشد. مانند خشک کردن محصولات کشاورزی، گرمایش و سرمایش محیط و یا تأمین آب گرم.
- *فرآیندهای با دمای متوسـط:* فرآیندهایی که به دمایی مابین ۱۰۰ تا ۳۰۰ درجه نیاز دارند مانند فرآیندهای صـنعت چوب، کاغذ، نسـاجی، کارخانجات قند، برخی از صنایع شیمیایی و ... در این دسته جای می گیرند که گرمای مورد نیاز عمدتا به صورت بخار تامین می گردد.
- *فرآیندهای با دمای بالا:* دمای مورد ا ستفاده در این فرآیندها در حدود ۳۰۰ تا ۷۰۰ درجه می با شد و معمولا به صورت حرات م ستقیم یا بخار پرفشار تامین می گردد مانند برخی از صنایع شیمیایی.
- *فرآیندهای با دمای بسیار بالا:* فرآیندهایی ه ستند که با حرارت م ستقیم در دمایی بیش از ۷۰۰ درجه کار می کنند و حتی برخی از موارد برای تولید دماهای فوق العاده بالا از کوره قوس الکتریکی استفاده می شود. مانند کارخانجات سیمان، فلزات اساسی و صنعت شیشه.

۳,۲,۲. تطبیق مشخصه های حرارتی انواع CHP با انواع فرآیندهای صنعتی

براسـاس مطالب ارائه شـده در این بخش می‌توان گفت با توجه به نوع تقاضـای حرارتی و قابلیت‌های متفاوت فناوری های تولید همزمان، تقریبا برای هر دسته فرآیند حرارتی ذکر شده در بالا یک فناوری CHP مناسب بوده و مطابق با جدول ۵ پیشنهاد می گردد.

جدول ۵: تطبیق فرآیندهای حرارتی با فناوری های CHP

مشخصه فرآیند حرارتی	نوع حرارت مورد نیاز	فناوری CHP قابل استفاده
دمای پایین (تا ۱۰۰درجه)	آب گرم/ بخار آب کم فشار/ هوای گرم دمای پایین	موتور رفت و برگشتی

[۱] International Standard Industrial Classification of All Economic Activities

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-07-26]

دمای متوسط (تا ۳۰۰درجه)	آب گرم/ بخار آب پرفشار	توربین بخار
دمای بالا (تا ۷۰۰درجه)	هوای داغ	توربین گازی
دمای بسیار بالا (بیش از ۷۰۰درجه)	حرارت مستقیم	توربین بخار با چرخه نزولی

٤- مطالعه موردی واحدهای صنعتی همدان

٤,١. دورنمای واحدهای صنعتی استان همدان

در استان همدان ۱۵ شهرک صنعتی، ۱۳ ناحیه صنعتی و یک منطقه ویژه اقتصادی که در مجموع ۲۹ شهرک و ناحیه صنعتی را شامل می شود، فعال می باشد. کل وسعت این مجموعه بالغ بر ۲۹۰۳ هکتار است که در مجموع تعداد ۲۱۹۷ قرارداد جهت واحد تولیدی منعقد گردیده, ۹۱۳ واحد صنعتی به بهره برداری رسیده اند و قریب هزار واحد در حال احداث می باشند (پایگاه اینترنتی شرکت شهرکهای صنعتی همدان). با وجود ظرفیت قابل توجه واحدهای صنعتی استان درکنار موقعیت جغرافیایی مناسب از لحاظ میانگین دمای نسبتاً پایین، توسعه تولید همزمان برق و حرارت در استان همدان کمتر مورد توجه قرار گرفته است که در این بخش با مطالعه میدانی و بازدید از برخی از واحدهای صنعتی و بر اساس چارچوب پیشنهادی در بخش قبل به امکانسنجی و انتخاب نوع فناوری CHP برای واحدهای منتخب پرداخته می شود.

٤,٢. گزارش بازدیدها از واحدهای صنعتی منتخب

به منظور ارزیابی دقیقتر وضعیت مصرف انرژی واحدهای صنعتی استان و پتانسیل سنجی نصب نیروگاه های تولید همزمان، با همکاری و هماهنگی دفتر HSEE سازمان صنعت، معدن و تجارت استان همدان، تعدادی واحد صنعتی از شاخه های صنعتی مختلف برای مطالعه بیشتر انتخاب و مورد بازدید قرار گرفت. اطلاعات مورد نیاز در مورد هر واحد صنعتی طی بازدید از این واحدهای صنعتی و با مصاحبه با مسئولین بخشهای مرتبط در هر واحد جمع آوری شده که به صورت خلاصه در پیوست آمده است.

٤,٣. فاز اول امکان سنجی

٤,٣,١. وزن دهی به شاخصها

بر اساس تحلیل انجام شده با روش AHP توسط پژوهشگران این مطالعه، وزن هر شاخص اختصاصی محاسبه شده و در جدول ۶ قابل مشاهده است.

جدول ۶: وزن شاخصهای اختصاصی بر اساس تحلیل سلسله مراتبی

ردیف	شاخص	وزن (درصد)
۱	تداوم روزانه بار حرارتی	**۲۶,۹۶**
۲	شدت و نوع بارهای حرارتی	**۲۶,۹۶**
۳	برنامه تغییرات اساسی و یا توسعه	**۱۵,۰۷**
۴	عدم تغییرات فصلی بار	**۱۳,۴۸**
۵	حساسیت بارهای الکتریکی به قطع برق	**۷,۵۳**
۶	انتشار آلایندگی واحد صنعتی	**۶,۷۴**
۷	عدم مصرف آب اضافی در CHP	**۳,۳۶**

٤,٣,٢. ارزیابی واحدهای نمونه براساس شاخصهای اختصاصی

در این مرحله واحدهای صنعتی منتخب بر اساس شاخص های اختصاصی و با در نظر گرفتن اهمیت شاخص ها، مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این تحلیل به کمک اطلاعات جمع آوری شده طی بازدید از هر واحد صنعتی و مصاحبه با مسئولین مربوطه، وضعیت هر واحد

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-07-26]

صنعتی در هر شاخص به صورت کیفی در پنج سطح (کاملاً نامناسب-نامناسب-متوسط-مناسب-کاملاً مناسب) ارزیابی شده و بر اساس آن امتیازی بین صفر تا یک به آن اختصاص داده شده است. سپس امتیاز کلی هر واحد از مجموع حاصلضرب امتیاز شاخص در وزن شاخص به دست آمده است. جزئیات امتیازات واحدها در این ارزیابی در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷: ارزیابی واحدهای صنعتی نمونه در چارچوب پیشنهادی

شاخص (وزن) / واحد صنعتی	تداوم بار حرارتی (٪۲۶,۹۴)	نوع و شدت حرارت (٪۲۶,۹۴)	برنامه توسعه یا تغییرات (٪۱۵,۰۵)	عدم تغییرات فصلی تولید (٪۱۳,۴۷)	حساسیت به قطع برق (٪۷,۵۲)	انتشار آلایندگی هوا (٪۶,۷۳)	عدم مصرف آب اضافی (٪۳,۳۵)	**امتیاز کل (درصد)**
فولاد ویان	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰	**۸۱,۶**
عایق بام هگمتانه	۰,۷۵	۰,۲۵	۰	۰,۵	۰,۱	۱	۰	**۴۱,۱۵**
شیشه همدن	۱	۰,۲۵	۱	۱	۱	۱	۰	**۷۶,۴۴**
فروسیلیس آذرخش	۱	۰,۸	۱	۱	۱	۱	۰	**۹۱,۲۶**
شیر پگاه	۰,۵	۱	۰	۱	۱	۱	۱	**۷۱,۴۸**
کشت و صنعت خزل	۱	۱	۰	۱	۰,۵	۱	۱	**۸۱,۱۹**
صنایع غذایی سحر	۰,۷۵	۱	۱	۰,۸	۰,۷۵	۱	۱	**۸۸,۶۹**
نخ رنگ	۰,۸	۱	۰	۰,۷۵	۰,۸	۱	۱	**۷۴,۶۹**

طبق این ارزیابی از مجموعه ۹ واحد صنعتی بازدید شده در این طرح پژوهشی، به جز عایق بام هگمتانه سایر واحدهای صنعتی دارای پتانسیل نصب تولید همزمان برق و حرارت هستند. به عنوان مهمترین دلایل عدم تناسب CHP برای این کارخانه می توان به این موارد اشاره نمود: نوع حرارت خروجی و دمای آن، تغییرات روزانه و فصلی بار حرارتی و عدم وجود برنامه توسعه در این واحد.

در طرف مقابل واحدهایی مانند فولاد ویان، فروسیلیس آذرخش، صنایع غذایی سحر و کشت و صنعت خزل در این ارزیابی بیشترین امتیاز را برای نصب CHP کسب کرده اند. عوامل موثر در کسب این امتیازات عبارتند از: نیاز به حرارت با شدت بسیار بالا و یا نیاز به بخار با حجم بالا، ضریب بار حرارتی بالا و وجود برنامه توسعه در برخی از واحدها که باعث صرفه‌جویی در هزینه تغییرات در سیستم خواهد شد.

٤,٤. فاز دوم: تطبیق فناوریهای تولید همزمان با فرآیندهای صنعتی

براساس چارچوب پیشنهادی در فاز اول امکان سنجی احداث CHP در واحدهای صنعتی انجام شد. مسلما نوع فناوری CHP قابل استفاده در هر واحد ممکن است یکسان نبوده و انتخاب آن وابسته به مشخصه بار حرارتی آنها می باشد. در فاز دوم چارچوب پیشنهادی انتخاب نوع فناوری CHP قابل استفاده در هر واحد صنعتی مورد مطالعه قرار می گیرد. بر اساس مطالب ارائه شده در بخش‌های قبل و با توجه به طبقه بندی انجام شده، مطالعه تطبیقی بین فناوریهای CHP و شاخه های صنعتی انجام شده و فناوری مناسب بر اساس فرآیند صنعتی در هر شاخه طبق جدول ۸ پیشنهاد می گردد.

جدول ۸: مشخصات حرارت مورد نیاز و نوع CHP مناسب در در شاخه های صنعتی

شاخه صنعتی	نوع حرارت مورد نیاز	شدت حرارت مورد نیاز	اولویت نخست فناوری CHP	سایر فناوریهای CHP قابل استفاده	برخی واحدهای مناسب در استان
صنایع غذایی	آب گرم/ بخار آب	کم	موتور رفت و برگشتی	توربین بخار	سحر- پگاه – کشت و صنعت خزل
صنایع نساجی	آب گرم/ بخار آب	کم/ متوسط	موتور رفت و برگشتی	توربین بخار	بافتینه- نخ رنگ
صنایع چوب و کاغذ	بخار آب/ هوای گرم	کم/ متوسط	موتور رفت و برگشتی	توربین بخار	لوح زرین ملایر
صنایع شیمایی و پتروشیمی	آب گرم/ بخار آب/ حرارت مستقیم	متوسط/ بالا	توربین گاز	توربین بخار-موتور رفت و برگشتی	آرین شیمی – رز پالایش غرب
صنایع کانی غیرفلزی	حرارت مستقیم	بالا/ بسیار بالا	توربین بخار با چرخه نزولی	توربین گاز	سیمان اکباتان- فروسیلیس آذرخش

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-07-26]

صنایع کانی فلزی	حرارت مستقیم	بسیار بالا	توربین بخار با چرخه نزولی	توربین گاز	فولاد ویان- آلومینیوم سیمین نورد
صنایع ماشین آلات و ابزار	وابسته به فرآیند	محدود	-	-	-
صنایع برق و الکترونیک	وابسته به فرآیند	محدود	-	-	-

لازم به ذکر است که هر شاخه شامل صنایع متنوعی بوده و در هر صنعت نیز روشها و فناوریهای مختلفی یافت شود، بنابراین ممکن است فرآیندهای حرارتی خاصی در برخی شاخه های صنعتی یافت شود که CHP پیشنهادی برای آن چندان مناسب نباشد، ولی در یک ارزیابی کلی می توان گفت همگونی مناسبی بین صنایع موجود در هر شاخه از لحاظ مصرف انرژی و تقاضای حرارتی وجود دارد. در صورت وجود تفاوت اساسی در یک فرآیند صنعتی خاص طبیعتا انتخاب نوع فناوری برای آن براساس مشخصه حرارتی طبق جدول ۵ امکان پذیر است.

۵. بحث

بر اساس تحلیل‌ها و نتایج این مطالعه و مشاهدات میدانی صورت گرفته، نکات زیر برای توسعه CHP در صنایع پیشنهاد می گردد.

- مولدهای موتوری، اولویت توسعه CHP.

مولدهای موتوری گاز سوز در سالهای اخیر در کشور ما کاملا شناخته شده و دسترسی به آن تسهیل شده است. ابعاد کوچک، نیاز به تأسیسات کم، راه اندازی ساده و سریع از دیگر مزیتهای این فناوری است. این فناوری برای واحدهای صنعتی با مصارف حرارتی به شکل آب گرم و بخار کم فشار مانند صنایع غذایی و صنایع نساجی بسیار مناسب بوده و می تواند جایگزین بخش اصلی تقاضای حرارتی آنها گردد. بنابراین این فناوری برای صنایع غذایی، نساجی و چوب و محصولات سلولزی به شدت توصیه می گردد. در شاخه صنایع غذایی واحدهای لبنیات، تولید انواع کنسرو، خشک کردن محصولات کشاورزی مانند تولید کشمش و تولید روغنهای گیاهی گزینه های مناسبی می باشند. همچنین واحدهای رنگرزی ازجمله صنایع مناسب در شاخه نساجی می باشد. و خشک کردن چوب یا تولید محصولات سلولزی بهداشتی نیز از دیگر صنایعی هستند که توسعه فناوری موتورهای رفت و برگشتی در آن توصیه می‌گردد.

موارد فوق نمونه هایی از شاخه های صنتعی هستند که تولید همزمان بوسیله موتورهای رفت و برگشتی در آن قابل استفاده است. به طور کلی هر واحد صنعتی که نیاز به حرارت به صورت آب گرم و یا بخار کم فشار دارند، برای احداث موتورهای رفت و برگشتی قابل مطالعه می باشد.

- تولید همزمان با چرخه نزولی (HRSG)، پاکترین گزینه توسعه CHP.

در بین تمامی گزینه های موجود، استفاده از توربین های بخار بازیاب حرارت در فرآیندهای صنعتی با دمای بسیار بالا بدون هیچگونه مصرف انرژی اضافی می تواند بخشی از اتلاف حرارتی از واحد صنعتی را برای تولید برق بازیافت نماید. این فناوری برای صنایع سنگین مانند سیمان، فولاد و ذوب فلزات قابل اجرا است.

- تنوع بخشی به استفاده از فناوری های مختلف، ضرورت توسعه CHP.

با وجود مزایا و گستردگی استفاده از CHP های موتورهای، این مولدها با محدودیت دما و شدت حرارت تولیدی مواجه هستند. سایر فناوری های CHP مانند توربین های بخاری و گازی با توجه به ویژگی های مختص خود، کارایی مناسبی برای استفاده در انواع صنایع را دارا می باشند.

- عدم ثبات اقتصادی و سیاستی، چالش توسعه CHP.

متاسفانه در سال اخیر نوسانات شدید قیمت ارز باعث افزایش ریسک سرمایه گذاری در پروژه های سرمایه گذاری مخصوصا پروژه های نیازمند به فناوری های وارداتی از جمله CHP شده است. چنین نوساناتی در کنار تغییرات وبرخی دوگانگی ها در قوانین و آئین نامه های مرتبط با احداث و بهره برداری از فناوری ها تولید همزمان باعث دفع سرمایه گذاران بخش خصوصی از این حوزه خواهد شد. بنابراین برای مواجهه با این چالشها تدوین قوانین تسهیلگر، گسترش مشوقهای دولتی و ایجاد ثبات در بازار انرژی می تواند بسیار موثر باشد.

- تاکید بر نگرانی های زیست محیطی، محرک توسعه CHP.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-07-26]

بهره‌وری پایین سیستم انرژی یکی از عوامل مهم مصرف بالای انرژی در کشور است که علاوه بر افزایش هزینه سوخت، آسیبهای جدی به محیط زیست نیز وارد می کند. اصلاح فرآیندهای سیستم انرژی و توسعه فناوریهای پربازده می توان در کاهش مصرف سوختهای فسیلی و صیانت از محیط زیست نقش موثری داشته باشد.

٦. جمع بندی

در این پروژه با هدف توسعه استفاده از تولید همزمان برق و حرارت در صنایع استان همدان به مطالعه ابعاد مختلف این فناوری و ارتباط آن با فرآیندهای صنعتی مختلف پرداخته شد. ابتدا این فناوری و جنبه های مختلف آن تشریح گردید و در ادامه با تاکید بر اینکه بازیافت حرارتی مزیت اصلی چنین فناوری هایی می باشد، به مطالعه فناوری های مختلف از زاویه قابلیت بازیابی حرارت پرداخته شد. با توجه به ظرفیت مناسب صنایع برای احداث واحدهای CHP، وضعیت صنایع استان نیز در این مطالعه بررسی گردید. در مجموع می توان گفت استان همدان با بیش از ۱۰۰۰ واحد صنعتی فعال و بیش از ۱۵ شهرک و ناحیه صنعتی با مساحت بالغ بر ۱۱۰۰ هکتار قابلیت و ضرورت ویژه ای برای بهینه سازی در مصرف سوخت دارد. به منظور افزایش بهره وری در سیستم انرژی، کاهش هزینه ها و صیانت از محیط زیست توسعه استفاده از مولدهای تولید پراکنده به صورت CHP تاکید می گردد. طبق نتایج این مطالعه، فناوری موتورهای رفت و برگشتی برای تولید همزمان برق و حرارت در صنایع غذایی، نساجی، چوب و محصولات سلولزی و تولید همزمان با چرخه نزولی (توربینهای بخار بازیاب حرارت)، در صنایع فولاد و سیمان پیشنهاد می گردد.

۷. سپاس‌گزاری

لازم است از سازمان صنعت، معدن و تجارت استان همدان که این پژوهش تحت حمایت مالی این سازمان صورت گرفته، مخصوصاً بخش‌های پژوهش و HSEE این سازمان که با نویسندگان در انجام این پژوهش همکاری نمودند کمال تشکر و قدردانی را داشته باشیم.

مراجع

آذر،ع. و رجب زاده، ع. (۱۳۸۱)، تصمیم گیری کاربردی . MADM تهران: نشر دانش.

پایگاه اینترنتی شرکت شهرکهای صنعتی همدان: https://hamedan.isipo.ir/index.jsp?fkeyid=&siteid=۱&pageid=۳٤۹&ostan=&code=۲۹

رازینی، صالح و همکاران، (۱۳۹۵)،"تولید سبز انرژی در دانشگاه ها؛ ارزیابی زیست محیطی، اقتصادی و فنی"، اولین همایش ملی دانشگاه سبز، بوشهر.

زمانی نژاد، م. و همکاران، (۱۳۸۹)، "تعیین شاخصهای مؤثر بر استفاده از تولید همزمان برق و حرارت در صنایع کشور و اولویت بندی صنایع بر این اساس" ، بیست و پنجمین کنفرانس بین المللی برق، تهران، ۱۳۸۹.

Álvaro A. et al. (۲۰۱۸), "Thermodynamic and economic evaluation of reheat and regeneration alternatives in cogeneration systems of the Brazilian sugarcane and alcohol sector", Energy, Vol. ۱٥۲, pp. ۲٤۷-۲٦۲.

Branchini, L. et al. (۲۰۲۱) "Cogeneration Supporting the Energy Transition in the Italian Ceramic Tile Industry, Sustainability, Vol ۱۳, pp. ۱-۱۷.

Cai, B, et al. (۲۰۱۷), "Operation strategy and suitability analysis of CHP system with heat recovery, Energy and Buildings", Volume ۱٤۱, pp. ۲۸٤-۲۹٤.

EL-Khatam W. & Salama, M. A. (۲۰۰٤), "Distributed Generation Technologies Definitions and Benefits", Electric Power Systems Research, Vol. ۷۱, pp. ۱۱۹-۱۲۸.

Gambini, M. and Vellini, M.,(۲۰۱۹) "On Selection and Optimal Design of Cogeneration Units in the Industrial Sector", J. sustain. dev. energy water environ. syst., Vol.۷, No ۱, pp ۱٦۸-۱۹۲.

Gambini M, et al., (۲۰۱۹) "High-Efficiency Cogeneration Systems: The Case of the Paper Industry in Italy", Energies, vol ۱۲, pp.۱-۲۱.

Gustavo Oliveira Souza, A, et al. (۲۰۲۱), "Economic Feasibility of Electrical Power Cogeneration from Forestry Biomass in an Engineered Wood Panel Industrial Facility", Croatian Journal of Forest Engineering, vol. ٤۲, No.۲ pp. ۳۱۳–۳۲۰.

Hassan M. T., et al., (۲۰۱۸) "Industrial Energy Efficiency Optimisation Through Cogeneration Using Biomass", ٥۳rd International Universities Power Engineering Conference, pp. ۱-٦

Institute for industrial productivity, (۲۰۱٥) "Combined Heat and Power (CHP) as a Compliance Option under the Clean Power Plan: A Template and Policy Options for State Regulators"

Kretov, D and. Kostyukov, V., (۲۰۲۰) "The Natural Gas Cogeneration Units Feasibility Study," International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, pp. ۱-٥.

Leite, C.A.A.F. et al. (۲۰۲۱) "Natural gas based cogeneration system proposal to a textile industry: a financial assessment" Energy Efficiency Vol.۱٤, No.۲۰, pp ۱-۲٤.

Valdes J. et al. (۲۰۲۰) "Unveiling the potential for combined heat and power in Chilean industry - A policy perspective", Energy Policy, Vol. ۱٤۰, pp. ۱-۱۱.

Vellini, M. et al. (۲۰۲۰) "High-efficiency cogeneration systems for the food industry", Journal of Cleaner Production, Vol. ۲٦۰, pp.۱۲۱-۱۳۳.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-07-26]

پیوست

جدول۹: خلاصه وضعیت واحدهای صنعتی بازدید شده

نام واحد	شاخه صنعتی	نوع حرارت مورد نیاز	ظرفیت حرارتی مورد استفاده	مصارف سرمایشی	ظرفیت پست/ انشعاب گاز	ظرفیت پست/انشعاب برق	تداوم بار	حساسیت به قطع برق	برنامه توسعه
فولاد ویان	کانی فلزی	حرارت مستقیم در کوره قوس با دمای ۱۷۰۰ درجه	دو کوره قوس با ظرفیتهای ۶۰MVA و ۱۲MVA	خنک کاری با آب به صورت مستقیم	۵۰۰۰m³/h و ۶۰psi	تغذیه با دو خط ۲۳۰kV و پست اختصاصی با دو ترانسفورماتور ۲۳۰/۳۳kV، ۷۵MVA و ۲۳۰/۶،۶kV، ۲۵MVA دیماند۷۲MVA پیک ۶۰MVA	سه شیفت	بسیار زیاد	ندارد
عایق بام هگمتانه	کانی غیرفلزی	حرارت غیرمستقیم با مشعل گاز سوز	۲۳ مشعل گاز سوز (همزمان ۷ مشعل فعال برای مخازن ۵۰هزار لیتری) برای گرم کردن قیر تا ۲۲۰ درجه	خنک کاری با آب به صورت مستقیم	۴۰۰m³/h ۶۰bar	دیماند ۴۰kW ۴۰۰V	خط تولید دو شیفت- مشعلها ۲ تا۳ شیفت	کم	ندارد
شیشه همدان	کانی غیرفلزی	حرارت مستقیم در دما ۶۰۰ تا ۱۷۰۰ درجه و غیرمستقیم در دمای ۱۲۰ تا ۶۰۰ درجه توسط مشعلهای گازسوز	-	خنک کاری محصول با گردش هوا	۴۰۰۰m³/h	تغذیه از دو خط ۶۳kV و یک ترانسفورماتور ۶۳/۲۰kV، ۸MW پیک بار ۴MW	سه شیفت	زیاد	فاز سوم در حال ساخت
فرو سیسلیس آذرخش	کانی غیرفلزی	حرارت مستقیم در کوره قوس با دمای ۲۸۰۰ درجه	کوره قوس الکتریکی با پیک ۲۱MVA	خنک کاری با گردش آب در رادیاتور و هوای ازاد	۱۰۰۰m³/h و فشار ۶۰psi	پست ۶۳/۲۰kV با دو ترانسفورماتور ۲۵MW	سه شیفت	بسیار زیاد	فاز دوم در حال ساخت
شرکت شیر پگاه	غذایی	بخار آب ۱۷۵C, ۸bar	سه بویلر ۲۴۰۰۰lb/h (۱۰،۸ ton/h تقریبا ۷،۱ MW) همزمان دو بویلر فعال	۵ کمپرسور ۱۱۰kW آمونیاک در اواپراتور و یخ ساز (حداکثر سه تا فعال)	۲۰۰۰m³/h ۲۵۰/۱۵psi	دیماند ۱۵۰۰kVA دو ترانسفورماتور ۲۰/۰،۴kV	دو شیفت	زیاد	ندارد
کشت و صنعت خزل	غذایی	بخار آب ۱۲،۹ bar, ۱۹۰C	سه بویلر ۸،۲ ton/Hr (۱۸۰۰۰ lbs/Hr) تقریبا ۵،۹ MW) همزمان دوتا فعال	دو چیلر ۳،۷kw و دو کمپرسور ۴۰hp	۶۰psi	دیماند ۲MW دو ترانسفورماتور ۲۰/۰،۴ kV، ۱،۶MVA و ۱MVA	سه شیفت	کم	ندارد
صنایع غذایی سحر و نیوشه	غذایی	بخار آب ۱۷۵C, ۸bar	دو بویلر ۱۸۰۰۰lb/h (۸ ton/h تقریبا معادل ۵،۳ MW) برای سحر و سه دیگ با ۲، ۳ و ۴ تن در ساعت برای نیوشه در مجموع معادل ۶،۲MW	۲۵ تن با دمای صفر تا ۵ درجه	دو پست ۱۰۰۰m³/h و ۶۰/۳۰psi	دو ترانسفورماتور ۷۵۰ ۲۰/۰،۴kV و ۱۲۰kW و kVA	در طول سال متغیر دو تا سه شیفت	متوسط	برنامه افزایش ظرفیت دارد
نخ رنگ	نساجی	بخار آب ۱۸۰C, ۱۰،۲bar روغن داغ ۱۰bar,۳۰۰C	دو دیگ بخار ۱۰،۲ ton/Hr و ۱۱ ton/Hr (۲۲۵۰۰ lbs/Hr, ۲۵۰۰۰ lbs/Hr معادل ۷،۳ MW) یکی رزرو، و سه بویلر روغن با ظرفیت ۱۰^۶ kcal/Hr (معادل ۱،۱۶۳MW) ظرفیت ۱۵۰ m³/Hr یکی رزرو	-	۲۵۰/۶۰ psi، ۲۵۰۰ m³/Hr	دیماند: ۶۵۰kVA ترانسفورماتور ۲۰/۰،۴ kV, ۸۰۰kVA	بویلر سه شیفت، خط تولید دو تا سه شیفت	نسبتا زیاد	ندارد

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-07-26]

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-07-26]