مجله دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی
زمستان ۱۴۰۲، دوره ۲۱، شماره چهارم، ۴۱۲ - ۳۹۵

مقاله پژوهشی

ارزیابی پایداری زیست محیطی صنعت سیمان صوفیان مبتنی بر مدل اقتصاد چرخشی

سیده سحر قایم‌مقامی‌هزاوه[۱]، رسول نصیری[۲]، محمدرضا مسعودی نژاد[۳]، سعید متصدی زرندی[۳]*، مرتضی تهامی‌پور[۴]

۱- دانشجوی دوره کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- دکترای تخصصی، مرکز تحقیقات آلودگی هوا، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

۳- استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران، ایران

۴- استادیار، گروه اقتصاد، دانشکده علوم اقتصادی و سیاسی، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران

*نویسنده رابط: smotesaddi@sbmu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۷/۱۸ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۳**

چکیده

زمینه و هدف: تولید سیمان ۷٪ از انتشار CO_2 جهانی را منتشر می کند. برای کاهش انتشار ۰/۷ ٪ سالانه تا سال ۲۰۳۰، صنایع سیمان می توانند مدل اقتصاد دایره‌ای را اتخاذ کنند. به همین منظور مطالعه حاضر به دنبال ارزیابی پایداری زیست محیطی صنعت سیمان صوفیان مبتنی بر مدل اقتصاد چرخشی می باشد.

روش کار: این پژوهش بر اساس مدل اقتصاد چرخشی بنیاد الن مک آرتور انجام شده است که در گام نخست اطلاعات مربوط به مصرف سوخت، الکتریسیته، آب، میزان پسماند تولیدی، گازهای منتشر شده و هزینه‌ها از کارخانه سیمان صوفیان در سال ۱۴۰۰ جمع‌آوری شد؛ در گام بعدی، استراتژی ها و راهکارهایی توسط متخصصین و مرور ادبیات جهت حرکت به سمت اقتصاد چرخشی تعیین گردید؛ در نهایت شاخص خطی و چرخشی بودن در حالت موجود و آتی برای سیمان صوفیان محاسبه شد.

نتایج: نتایج نشان داد که صنعت سیمان صوفیان در حالت فعلی بر پایه اقتصاد خطی و وابستگی شدید به مواد خام اولیه فعالیت می‌کند؛ این در حالی ست که در حالت آتی و پس از به کار بردن پیشنهادات، شاخص خطی و چرخشی به ترتیب از ۱ کمتر و از ۰/۱ بیشتر می شود که حاکی از حرکت سیمان صوفیان به سمت یک اقتصاد چرخشی می باشد.

نتیجه گیری: در حال حاضر صنعت سیمان صوفیان بر پایه یک اقتصاد کاملا خطی است که در صورت اجرای استراتژی ها مورد مطالعه می‌تواند به سمت یک اقتصاد چرخشی گام بردارد که موجب افزایش سود خالص کارخانه، حفظ منابع و کاهش انتشارات CO_2 خواهد شد.

واژگان کلیدی: سیمان صوفیان، مدل اقتصاد چرخشی، پایداری زیست محیطی

مقدمه

با گسترش جوامع شهری و رشد سازه‌های عمرانی، نیاز به سیمان در مقایسه با گذشته به طور چشم‌گیری افزایش پیدا کرده است. به طوری‌که میزان تولید سیمان در سطح جهانی در سال ۲۰۲۱ برابر با ٤/٤ میلیون تن بوده است. کشور ایران با تولید سالانه ٦٢ میلیون تن، هفتمین کشور تولید کننده سیمان است (۱). کارخانه سیمان صوفیان تبریز در سال ۱۳٤٥ تاسیس شده است؛ این کارخانه دارای دو خط تولید با ظرفیت ۷۰۰۰ تن کلینکر در روز است (۲). برای فرآوری یک تن سیمان و یک کیلوگرم کلینکر در ایران به ترتیب به ۱۰۸ کیلووات ساعت انرژی الکتریکی و ۸۷۰ کیلو کالری انرژی حرارتی نیاز

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2024-08-24]

است که این مقادیر به ترتیب ۳٪ و ۹٪ بیشتر از میانگین جهانی هستند (۳). میزان انتشار CO_2 این صنعت در حدود ۷٪ از کل ۳۰ گیگاتن انتشار جهانی است که این مقدار، صعنت تولید سیمان را در رتبه دوم و بعد از تولید فولاد قرار می‌دهد (٤). پیش‌بینی می شود که این مقدار انتشار با توجه به پیشرفت جوامع و افزایش مصرف سیمان، تا سال ۲۰۵۰ میتواند به ۲۷٪ افزایش یابد (۵). انتشار $CO2$ از کارخانه های سیمان و پیرو آن سیمان صوفیان به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم رخ می‌دهد. انتشار مستقیم در فرآیند کلسینه شدن و تولید کلینکر رخ می دهد و انتشارات غیرمستقیم شامل استفاده از سوخت‌های فسیلی برای گرم کردن کوره‌ها (٤۰٪) برق برای استفاده از ماشین آلات و حمل و نقل نهایی مجموعا (۱۰-۵٪) است (٦). بنابراین باید اقداماتی در راستای کاهش انتشار کربن دی اکسید از صنایع صورت بگیرد، براساس سناریوی توسعه پایدار جهانی، صنایع سیمان تا سال ۲۰۳۰ باید هر سال انتشار CO_2 را ۰/۷ ٪ کاهش دهند و همچنین کشور ما نیز طبق پیمان پاریس متعهد شده است که مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای را تا ۱۲٪ کاهش دهد (۳). با در نظر گرفتن موارد ذکر شده و همچنین توجه به این مورد که اکثر کارخانجات بزرگ سیمان ایران در نزدیکی کلان شهرها ساخته شده اند (۹-۷)؛ اعمال روش های کاهش انتشار گازهای گلخانه ای که هم موجب کاهش میزان آلودگی هوا و هم موجب کاهش تغییرات اقلیمی و اثرات ناشی از آن می شود (۱۱،۱۰) را ضروری می کند؛ از این رو، جهت برآورده شدن این اهداف و دستیابی به کاهش انتشارات، روش‌های متعددی به کار گرفته می‌شود که یکی از آنها مدل اقتصاد چرخشی است. اقتصاد چرخشی به مدلی اشاره دارد که بر اساس استفاده بهینه از منابع طبیعی، کاهش پسماندها و حفظ توازن بین اقتصاد و محیط زیست تمرکز دارد. در این مدل، اهداف اقتصادی با اهداف محیط زیست تلفیق می‌شوند تا به توسعه پایدار و حفظ محیط زیست بپردازد. اقتصاد چرخشی بر این اصل تمرکز دارد که منابع طبیعی محدود هستند و باید به طور هوشمندانه و پایدار مورد استفاده قرار گیرند تا برای نسل‌های آینده نیز منابع کافی باقی بماند. این مدل اقتصادی تلاش می‌کند تا با بهره‌گیری از فناوری‌های پاک و کارآمد، از تولید پسماندها و آلودگی‌ها جلوگیری کند و به توسعه پایدار و حفظ محیط زیست بپردازد. به عبارتی دیگر این مدل اقتصادی بر پایه‌ی تولید مجدد، کاهش پسماند و انتشارات است که موجبات کاهش وابستگی صنایع به مواد اولیه با منابع محدود و سوخت‌های فسیلی را فراهم می کند (۱۲). این مدل برخلاف مدل خطی، که مدل اقتصادی رایج در جهان است، می‌تواند کربنی که در نتیجه تولید، استفاده و دفع مواد انتشار یافته‌است را کاهش دهد (۱۳). در حال حاضر تنها ۹/۱٪ از اقتصاد جهان دایره‌ای است (۱۲). در حالی که، مطابق برآورد بنیاد Mac Arthur در صورت بهره‌گیری از این مدل اقتصادی، در صنایع سیمان، فولاد، پلاستیک و آلومینیوم تا سال ۲۰۵۰، انتشار CO_2 می‌تواند ٤۰٪ یا در حدود ۳/۷ بیلیون تن کاهش یابد (١٤). مطالعات متعددی در رابطه با به کارگیری این مدل اقتصادی در صنعت سیمان صورت گرفته است که از جمله این مطالعات می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد: در یک مطالعه مورد-شاهدی اثر مثبت به کارگیری مدل اقتصاد چرخشی برروی کاهش انتشارات و سوددهی اقتصادی در کارخانه سیمان را تائید شد (۱۵). نتایج Ramsheva و همکاران نیز همسو با این مطالعه بود (١٦). نتایج یک مطالعه دیگر نیز نشان داد که استفاده از استراتژی های اقتصاد چرخشی، تا سال ۲۰۵۰، ۵۹٪ انتشارات را با نرخ $US \$10/tCO_2$ کاهش می‌دهد (۱۷). همچنین در مطالعات دیگری، در جهت برآورده شدن اساس اقتصاد چرخشی و کاهش وابستگی به منابع، نوعی از سیمان با استفاده از زایدات کارخانه سرامیک سازی تولید شد (۱۸). Rohan نیز، بکارگیری تکنیک فرآوری-همزمان جهت بازیابی زایدات در صنعت سیمان را در راستای دستیابی به اقتصاد چرخشی در صنعت سیمان و بتن بررسی کرده است (۱۹). Lak نیز در مطالعه‌ای در راستای حمایت از اقتصاد چرخشی، روشی را توسعه داد که از طریق آن بتوان بتن دورریخته شده

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2024-08-24]

را به عنوان مواد سیمانی بازیافت کرد و به این ترتیب سیمان با محتوای کم CO_2 تولید کرد (۲۰). باتوجه به موارد ذکر شده به نظر می‌رسد که این مدل اقتصادی می‌تواند در کارخانه سیمان صوفیان مورد استفاده قرار گیرد؛ از این رو هدف از انجام مطالعه حاضر ارزیابی پایداری زیست محیطی صنعت سیمان صوفیان مبتنی بر این مدل اقتصادی است.

روش کار

پژوهش کنونی در گام های ۱-آنالیز و بررسی فرآیند تولید سیمان از منظر اقتصاد چرخشی، ۲-جمع آوری داده‌ها و اطلاعات مرتبط با فرایند تولید سیمان، ۳-آنالیز داده های مرتبط با وضعیت موجود فرآیند تولید سیمان در صنعت سیمان صوفیان با استفاده از فرمول ها و مفاهیم آماری اقتصاد چرخشی، ٤-ارائه پیشنهادهای مستخرج شده از مطالعات مختلف و مرور ادبیات جهت حرکت صنعت سیمان صوفیان به سمت اقتصاد چرخشی و ۵- آنالیز مجدد اطلاعات و داده‌ها بعد از بکار گیری پیشنهادهای استخراج شده از مطالعات مختلف جهت دستیابی به میزان حرکت به سمت اقتصاد چرخشی و به تبع آن فاصله گرفتن از اقتصاد خطی در صنعت سیمان صوفیان انجام شده است. لازم به ذکر است که داده‌ها و اطلاعات موجود در خصوص هر پیشنهاد ارائه شده در جدول ۲ از همان مطالعات استخراج شده است؛ به عنوان مثال با بکارگیری مدل DSM و مدیریت زمان‌های مصرف، انتشارات ناشی از مصرف برق کاهش ۲٪ (۱۰۰۰ تن در سال) و هزینه های مرتبط با کاهش مصرف برق کاهش ٤/۲ ٪ را تجربه خواهد کرد؛ که این اطلاعات در فرمول های مورد استفاده جهت حرکت صنعت سیمان صوفیان به سمت اقتصاد چرخشی استفاده شده است. پس از انجام تمامی مراحل و گام های ذکر شده نتایج مطالعه شامل ۲ بخش وضعیت موجود و وضعیت آتی خواهد بود که وضعیت آتی نشان از میزان تغییر و حرکت صنعت سیمان صوفیان از یک اقتصاد خطی به یک اقتصاد چرخشی با استفاده از اجرا و بکارگیری پیشنهادات ارائه شده در جدول ۲ خواهد بود.

۱-۲- اقتصاد چرخشی: در مفهوم اقتصاد چرخشی، اگر در تولید محصولی فقط از مواد اولیه خام استفاده شود و در نهایت مصرفش به محل دفن ختم شود می‌تواند به عنوان یک محصول کاملا خطی شناخته شود. در مقابل هر محصولی که هیچ ماده اولیه خامی ندارد و مواد اولیه آن کاملا از اجزا بازیافتی یا استفاده مجدد هستند و راندمان بازیافت در آن محصول ۱۰۰٪ است، می‌تواند به عنوان یک محصول کاملا چرخه‌ای شناخته شود. در عمل محصولات یک جایی بین این دو مفهوم قرار دارند، مقدار چرخشی بودن در محدوده‌ای بین ۰ تا ۱ تعریف می شود. لازم به ذکر است که مواد بازیافتی استفاده شده به عنوان ماده اولیه یا سایر استفاده‌ها حتما نباید از یک منبع یکسان باشند، بلکه می‌توان از منابع و صنایع دیگر استفاده کرد. جهت محاسبه شاخص جریان خطی (LFI) و شاخص چرخش مواد (MCI) ابتدا باید مقدار مواد اولیه خام, پسماند غیرقابل بازیابی و سودمندی محصول با استفاده از روابط زیر محاسبه شوند:

$$V = M(1 - F_R - F_U - F_S)$$

V میزان ماده خام اولیه مصرفی، (F_R) کسری از مواد که از منابع بازیافتی اند، (F_U) کسری از مواد که از استفاده مجدد بکار گرفته شده‌اند، (F_S) کسری از مواد بیولوژیکی که از تولید پایدار به وجود آمده‌اند و (M) جرم محصول نهایی است.

$$W_0 = M(1 - C_R - C_U - C_C - C_E)$$

اگر C_R نماینگر کسری از محصول باشد که در نقطه نهایی مصرف جهت بازیافت جمع‌آوری شود، C_U کسری از جرم محصول باشد که برای استفاده مجدد اجزا برده می‌شود، C_C نشان دهنده جرمی از محصول است که از مواد بیولژیکی آلوده نشده، که کمپوست می‌شوند، تشکیل شده است، و C_E نمایانگر جرمی از محصول است که از مواد بیولوژیکی‌ای که تولید پایدار دارند و برای بازیابی انرژی به کار می‌روند.

$$W_C = M(1 - E_C)C_R$$

اگر بازیابی انرژی قابل اعمال باشد، مقدار C_E بر اساس راندمان فرآیند بازیابی انرژی‌محاسبه می‌شود. اگر E_C راندمان فرایند

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2024-08-24]

بکار رفته شده برای بازیافت محصول در نقطه نهایی مصرف آن باشد، مقدار پسماند تولیدی در این فرایند از طریق معادله بالا محاسبه می‌شود و اگر E_F راندمان فرآیندی باشد، که برای تولید مواد اولیه از بازیافت بکار می‌رود، می‌توان پسماند ساخته شده برای تولید هر محتوای بازیافتی ای که به عنوان ماده اولیه به کار می‌رود محاسبه کرد(W_F). مقدار کلی پسماند غیرقابل بازیابی(W)، را با استفاده از W_F، W_0 و W_C به دست آورد.

شاخص جریان خطی(LFI)، کسری از مواد که در مدل خطی جریان دارد را اندازه‌گیری می‌کند. این شاخص از طریق تقسیم مقدار ماده ای که به صورت خطی جریان دارد بر مجموع مقدار موادی که به صورت خطی و بازیابی شده، جریان دارد؛ محاسبه می شود. این شاخص مقداری بین صفر و ۱ دارد، که در صورت کاملا خطی بودن جریان مقدار LFI، برابر ۱ خواهد بود.

سودمندی(X) دارای دو جز است، یکی مربوط است به طول مدت استفاده محصول (طول عمر) و دیگری با شدت استفاده (واحدهای عملکردی) مرتبط است. محاسبه سودمندی از ضرب نسبت طول عمر محصول بر طول عمر میانگین در نسبت شدت استفاده از محصول بر شدت استفاده میانگین آن محصول انجام می شود.

شاخص چرخشی بودن یک محصول را می‌توان با شاخص جریان خطی و فاکتور تابع سودمندی ($F(X)$) محاسبه کرد. زمانی که میزان سودمندی برابر با ۱ باشد، به این معنی که سودمندی محصول مورد نظر برابر با میانگین صنعت است، مقدار تابع سودمندی برابر ۰/۹ می‌شود، اگر شاخص خطی بودن جریان محصول با ۱ برابر باشد، مقدار شاخص چرخشی بودن مواد معادل ۰/۱ می‌شود (۲۱).

$$F(X) = \frac{0.9}{X}.$$

۲-۲- داده ها: در ابتدا اطلاعات مربوط به مصرف برق، آب، مازوت و گاز طبیعی، میزان تولید پسماند و فاضلاب بهداشتی، آلودگی صوتی، انتشار کربن دی اکسید و ذرات، مقدار تولید کلینکر و سیمان از آرشیو کارخانه جمع آوری شد. با توجه به این موضوع که اطلاعات در واحدهای زمانی متفاوتی اندازه‌گیری شده بودند، فرآیندهایی جهت cleaning و processing داده‌ها انجام شد. در مورد داده‌هایی که به صورت سه ماهه اندازه‌گیری شده بودند، مقادیر موجود برای هر سه ماه با یکدیگر جمع شدند و سپس میانگین آنها بکار گرفته شد، در مواردی مانند میزان تولید فاضلاب بهداشتی و یا پسماند عادی مقادیر روزانه، در تعداد روزهای ماه ضرب شد تا مقدار تولید ماهانه به دست بیاید؛ داده‌هایی مانند پسماند الکترونیکی و یا عفونی که مقادیرشان به صورت سالانه در اطلاعات کارخانه ذکر شده بود، عدد موجود تقسیم بر تعداد ماه‌های سال شد. داده‌های مربوط به مصرف برق و آب و سوخت به صورت ماهانه و به تفکیک واحد در آرشیو کارخانه وجود داشت. شاخص چرخشی بودن مواد برای اجزای یک محصول، اندازه می گیرد که جریان تولید محصول تا چه اندازه از خطی بودن فاصله گرفته است و جریان تجدیدپذیر جایگزین آن شده است و محصول مذکور در مقایسه با محصولات مشابه، در چه مدت زمانی و با چه شدتی استفاده می‌شود.

پس از آماده سازی داده ها، برای تحلیل جریان خطی یا چرخشی بودن در صنعت سیمان صوفیان از EXCEL 2016 بهره گرفته شد. داده‌های موجود در نرم‌افزار اکسل به صورت جدول ۱ دسته بندی شدند و با فرمول‌های مذکور مقادیر LFI و MCI برای هر بخش محاسبه شد.

سپس روش‌هایی بررسی شد که بکارگیری آنها کمک می‌کند تا مدل اقتصادی کارخانه از حالت موجود که خطی است، در راستای چرخشی شدن تغییر کند. سازمان توسعه صنعتی ملل متحد United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) رویکردهای برآورده کردن اقتصاد چرخشی را در چهار دسته تقسیم بندی کرده‌است، محصول سبز (Green Production)، تولید پاک (Clean Production)، خدمات بهتر (Services Better) و بازیافت (Recycle)، استفاده مجدد (Reuse)، تولید مجدد

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2024-08-24]

(Remanufacture) و نوسازی (Refurbishment). منظور از محصول سبز تولید محصول به نحوی است که آلودگی و سمیت کمتر داشته باشد، قابلیت بازیافت داشته باشد و عمرش طولانی تر باشد، تولید پاک اشاره بکارگیری روش‌هایی دارد که منجر به استفاده کمتر منابع و افزایش درآمد تولید محصول می‌شود. خدمات بهتر مجموعه خدمات و سرویس‌هایی هستند که داده می‌شوند تا طول عمر محصول افزایش یابد. در نهایت اطلاعات جدول ۱، یک بار دیگر برای کارخانه در شرایطی که روش‌های پیشنهادی به کار گرفته شوند، تکمیل شد و شاخص جریان خطی و شاخص چرخشی بودن مواد در هر یک از شرایط مذکور محاسبه شد. روش‌های پیشنهادی و دسته‌بندی آنها براساس تقسیم بندی سازمان توسعه صنعتی ملل متحد در جدول ۲ نشان داده شده است.

نتایج

با توجه به این که در مواد روش‌های ذکر شده در رابطه با بکارگیری این روش در کارخانه سیمان اطلاعات کافی وجود نداشت، جهت تعیین متغیرها از بررسی متون و نظرات خبرگان استفاده شد. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، سازمان توسعه صنعتی ملل متحد، ٤ رویکرد اصلی جهت دستیابی به اقتصاد چرخشی در صنایع مشخص کرده است و راه‌حل‌های پیشنهادی در این پژوهش نیز در این چهار دسته تقسیم شده اند؛ جهت دستیابی به تولید پاک‌تر و کاهش وابستگی به منابع، یکی از پیشنهادات موثر که در چند مطالعه جهت کاهش مصرف گاز طبیعی بکارگرفته شده است، استفاده از سوخت جایگزین است که در صورت استفاده از این پیشنهاد در کارخانه سیمان صوفیان بسته به درصد جایگزینی این سوخت، مقدار F_R که نمایانگر کسری از ماده خام است که منبع بازیافتی دارد افزایش می‌یابد، در نتیجه این افزایش مقادیر شاخص جریان خطی(LFI) کاهش می‌یابد و شاخص چرخشی بودن مواد(MCI) نیز افزایش می‌یابد، نتیجه این تغییرات در شکل ۱، قسمت (الف) نشان داده شده است. در نتیجه این صرفه‌جویی در مصرف گاز؛ هزینه سوخت مصرفی کاهش می‌یابد که منجر به کاهش بهای تمام شده درآمدهای عملیاتی و افزایش سود خالص در کارخانه می‌شود، البته بکارگیری سوخت جایگزین نیز هزینه‌هایی دارد که درصدی از افزایش سود خالص کارخانه به این مقادیر اختصاص داده شده و درصد افزایش سود خالص پس از آن محاسبه شده است، شکل ۱-قسمت(ب) نمایانگر تغییرات ایجاد شده در شاخص‌های مالی است. انتشار کربن دی اکسید از کارخانه سیمان به ۲ صورت مستقیم و غیرمستقیم رخ می‌دهد. کربن دی اکسید به صورت غیرمستقیم در نتیجه مصرف سوخت فسیلی و یا الکتریسیته منتشر می‌شود، بنابراین کاهش مصرف سوخت منجر به کاهش انتشار می‌شود (شکل ۱- قسمت(ج).

دسته دیگری از پیشنهادات که در مطالعات به کار گرفته شده‌اند و در برآورده سازی هدف تولید پاک می‌توانند موثر باشند استفاده از سیستم‌های بازیابی حرارت از دست رفته و استفاده از آن جهت تولید الکتریسیته است، از جمله این روش‌ها می‌توان به سیستم‌های تولید همزمان حرارت و الکتریسیته (Combined Heat and power)، استفاده از بویلرهای HRSG (Heat Recovery Steam Generators)، استفاده از دیگ‌های بازیابی حرارت اشاره کرد. این روش‌ها کسری از ماده خام (الکتریسیته مصرفی) که منبع بازیافتی دارند را افزایش می‌دهند، در نتیجه این افزایش، مقدار خطی بودن اقتصاد کارخانه کاهش می‌یابد و مقدار چرخش مواد نیز افزایش می‌یابد (شکل۲- قسمت الف)، صرفه‌جویی در مصرف الکتریسیته، منجر به کاهش هزینه الکتریسیته می‌شود، اما تاسیس این سیستم‌های بازیابی حرارت نیز هزینه‌ای به همراه دارد، تغییرات شاخص‌های مالی در قسمت (ج) شکل ۲، به تصویر کشیده شده اند. با کاهش مصرف الکتریسیته مصرفی، انتشار غیرمستقیم کربن دی اکسید که از این منبع رخ می‌دهد نیز کاهش می‌یابد که مقادیر آن بسته به روش پیشنهادی در قسمت (ب) شکل ۲ نشان داده شده است. رویکرد دیگر در جهت برآورده سازی

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2024-08-24]

اهداف اقتصاد چرخشی استفاده از پیشنهاداتی است که در دسته خدمات بهتر قرار می‌گیرند، این پیشنهادات با تغییر راندمان و افزایش بهره‌وری سیستم‌ها و بهینه سازی آنها موجب کاهش انتشارات و کاهش مصرف الکتریسیته و سوخت می‌شوند، در مطالعات روش‌هایی که در جهت بهینه‌سازی مصرف الکتریسیته به کار گرفته شده است، استفاده از مدل Demand Side Management (DSM) Variable Speed Drives (VSD) به معنای مدیریت زمان‌های کارکرد کارخانه و تغییر زمان‌های بهره برداری از کارخانه به زمان های غیر پیک است، راه‌حل دیگر استفاده از Variable Speed Drives در قسمت‌های موتوردار کارخانه است، این درایوها بسته به بار و شرایط سرعت چرخش موتورها را تغییر می‌دهند و به این ترتیب از اتلاف انرژی جلوگیری می‌شود، روش دیگر بررسی حالت‌های متفاوت بهره‌برداری در آسیاب‌ها و انتخاب حالت بهینه با بالاترین راندمان و کمترین میزان مصرف الکتریسیته است، در مطالعه‌ای نیز از قانون اول و دوم ترمودینامیک جهت دستیابی به حالت بهینه استفاده شده است، بکارگیری این روش‌ها مقدار مصرف کارخانه را کاهش می‌دهد و به دلیل اینکه بخشی از الکتریسیته بازیابی شده است، اقتصاد کارخانه به سمت چرخشی بودن حرکت می‌کند، شکل ۳، قسمت الف نشان دهنده تغییر در شاخص‌های اقتصاد چرخشی کارخانه سیمان صوفیان در صورت به کارگیری این راه‌حل‌ها است. صرفه‌جویی در مصرف الکتریسیته و بهینه سازی مصرف موجب تغییر در مقادیر هزینه‌ها هم می‌شود، شکل۳، قسمت (ب) نماینگر این تغییرات است و قسمت (ج) شکل ۳ نیز نشان دهنده میزان کاهش انتشار غیرمستقیم در نتیجه استفاده از این راه‌حل ها است. همچنین در صورت استفاده از موازنه‌های جرمی و بهینه سازی مصرف سوخت، شاخص خطی بودن جریان معادل ۰/۹۵ خواهد شد و شاخص چرخش جریان به ۰/۱٤٥ افزایش خواهد یافت, بهای تمام شده درآمدهای عملیاتی معادل ٤٨٤/٥٥ میلیارد تومان در سال می‌شود و سود خالص کارخانه ۰/۲۱ افزایش خواهد یافت, ضمنا انتشار غیرمستقیم کربن دی اکسید نیز ۱/۵٪ کاهش خواهد یافت. رویکرد دیگر، تولید محصول سبز است، منظور از این نوع محصول، محصولی است که منجر به انتشار کمتر آلودگی می شود و محصول یا در نتیجه بازیافت تولید شده و یا قابلیت بازیافت دارد، در مطالعات بررسی شده در این پژوهش این راه‌حل‌ها شامل جایگزینی کلینکر با پوزولانای طبیعی، استفاده از سوخت‌های بر پایه هیدروژن جهت جایگزینی سوخت‌های فسیلی و استخراج و جذب کربن دی‌اکسید از خروجی دودکش‌های کارخانه جهت تولید نانو $CaCO_3$ بود، در صورتی که در کارخانه سیمان صوفیان این روش‌ها اجرا شود، می‌تواند مدل اقتصادی کارخانه را از حالت کاملا خطی خارج کند، شکل ٤ نشان دهنده تغییرات در میزان شاخص‌های مرتبط با اقتصاد چرخشی است. در رابطه با شاخص‌های مالی، در مورد جایگزینی سوخت با استفاده از سوخت‌های هیدروژنی و استفاده از کربن دی اکسید موجود در دودکش‌ها جهت تولید نانو$CaCO_3$ اطلاعات وجود ندارد، بنابراین در این رابطه محاسباتی صورت نگرفته است، در صورت جایگزینی ۱۵٪ کلینکر با پوزلانا، هزینه تمام شده درآمدهای عملیاتی برابر ٤٧٤/٨١ میلیارد تومان در سال می‌شود و سود خالص ۳/۱٪ افزایش می‌یابد. این راه‌حل‌ها به ترتیب ٤٤٪، ٦٠٪ و ۱۰٪ انتشار مستقیم کربن دی اکسید را کاهش می‌دهند.

بحث

در شرایط کنونی سوخت کارخانه سیمان یا گاز طبیعی است و یا مازوت، با توجه به این نکته که هر دو این سوخت‌ها منشا فسیلی دارند و تجدید پذیر نیستند، شاخص خطی بودن جریان برای مصرف سوخت در کارخانه سیمان صوفیان برابر ۱ و شاخص چرخش مواد، برابر ۰/۱ است که این مقادیر نشان دهنده این است که اقتصاد کارخانه کاملا خطی است، در صورتی که در این کارخانه از RDF به عنوان سوخت جایگزین استفاده شود، از آن‌جایی که RDF یک سوخت با منبع بازیافتی

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2024-08-24]

است و مدل اقتصاد چرخشی یک مدل حلقه بسته نیست، استفاده از پسماندهای سایر صنایع و حتی پسماندهای شهری باعث افزایش مقدار F_R می‌شود، این افزایش منجر به افزایش کسر ماده خام بازیافتی در محاسبه شاخص خطی بودن جریان می‌شود و در نهایت مقدار آن از ۱ کمتر می‌شود و در نتیجه مقدار شاخص چرخش مواد نیز از ۱/۰ بیشتر می‌شود، همچنین بهای تمام شده درآمدهای عملیاتی کاهش می‌یابد و سود خالص کارخانه نیز افزایش می‌یابد. در این پژوهش براساس مطالعات موجود، این جایگزینی در درصدهای متفاوت فرض شده است. در رابطه با جایگزینی سوخت مطالعات متعددی انجام شده است که از بین آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. در مطالعه انجام شده توسط علی محمدی، در صورت استفاده از RDF به عنوان سوخت جایگزین در کارخانه‌های سیمان، می‌توان به صورت سالیانه در مصرف ۲ میلیارد متر مکعب گاز طبیعی در تمام کارخانه‌های سیمان در سطح کشور صرفه‌جویی کرد (۲۲). همچنین نتایج مطالعه دیگری، نشان داد که در صورت استفاده از RDF در کارخانه سیمان می‌توان روزانه ۷۵۸۰۶۳۷۷ ریال در هزینه‌های ناشی از مصرف سوخت صرفه‌جویی کرد (۲۳) و در مطالعه دیگری در صورتی که ۱۵٪ سوخت کارخانه سیمان با RDF جایگزین بشود، در هزینه‌های مصرف انرژی ۷٪ صرفه‌جویی می‌شود (۳). باتوجه به نتایج موجود، می‌توان گفت که نتایج مطالعه حاضر همسو با مطالعات پیشین است.

به طور کلی به کارگیری این پیشنهادات موجب کاهش انتشارات کربن‌دی‌اکسید می‌شوند، اما از آنجایی که خود راه‌اندازی این سیستم‌ها نیاز به یک هزینه اولیه دارد، سود خالص کارخانه به طور قابل توجهی افزایش نخواهد یافت، اما در صورتی که این سیستم‌ها در دراز مدت به کار گرفته شوند، در نهایت سوددهی اقتصادی نیز خواهند داشت. از روش‌های مذکور در سایر مطالعات نیز استفاده شده است؛ برای مثال در مطالعه‌ای در صورت استفاده از سیستم‌های CHP هزینه‌های تامین انرژی به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر می‌شود (۲۴)، در مطالعه دیگری، بررسی شده است که در صورت استفاده از بویلرهای بازیافت حرارت می‌توان در حدود ۳۰٪ از توان الکتریسیته را تامین کرد (۲۵)؛ در مطالعه دیگری به این نکته اشاره می‌شود که استفاده از روش‌های بازیافت حرارت در صرفه‌جویی هزینه‌های مربوط به مصرف انرژی نقشی ندارند اما مزایای زیست محیطی به همراه خواهند داشت (۳)، بنا بر مطالعه دیگری استفاده از حرارت تلف شده جهت تولید الکتریسیته، موجب صرفه‌جویی ۵۲۲ میلیون تومان در سال می‌شود (۲۶)؛ نتایج مطالعه دیگری نشان می‌دهد که در صورت به کارگیری یک نیروگاه کوچک بخار و بازیابی حرارت تلف شده در کارخانه سیمان، می‌توان روزانه در حدود ۶ مگاوات برق تولید کرد (۲۷) و در نهایت در مطالعه‌ای که استفاده از دیگ‌های بازیابی حرارت بررسی شده است، نتایج نشان می‌دهد که به کارگیری این روش می‌تواند ۲۳۹۳۱ و ۲۱۲۵۳ کیلوژول بر ثانیه گرما بازیافت کند (۲۸).

در کارخانه سیمان صوفیان در صورتی که از روش‌هایی که در مطالعات در راستای افزایش بهره‌وری و کاهش انتشارات و مصرف الکتریسیته استفاده شود، مقدار C_R که نماینگر کسری از ماده است که در نقطه نهایی مصرف جهت بازیافت جمع آوری می‌شود و یا مقدار C_U که نماینگر کسری از ماده است که در نقطه نهایی مصرف جهت استفاده مجدد جمع‌آوری می‌شود، افزایش می‌یابد. زیرا در حقیقت مقدار انرژی بازیابی شده در نهایت مجددا و جهت تولید محصول مصرف می‌شود. افزایش این مقادیر در نهایت موجب می‌شود که شاخص خطی بودن جریان یا در مصرف الکتریسیته و یا در مصرف سوخت از ۱ کمتر شود و اقتصاد کارخانه در جهت چرخشی بودن پیش‌برود. همچنین در نتیجه بالا رفتن راندمان و کاهش مقدار اتلاف، انتشار غیر مستقیم کربن‌دی‌اکسید نیز کاهش می‌یابد و این صرفه‌جویی‌ها نیز، منجر به افزایش سود خالص کارخانه نیز می‌شود، و با در نظر گرفتن اینکه هزینه اولیه به کارگیری چنین روش‌هایی در مقایسه با سایر روش‌ها بسیار اندک است، این

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2024-08-24]

افزایش سود با ارزش است. براساس مطالعات انجام شده در صورت بررسی جریان‌های حامل انرژی حرارتی در دپارتمان پخت و محاسبه انرژی هر یک از این جریان‌ها و به کارگیری روش‌هایی جهت بهبود شرایط و کاهش میزان انرژی تلف شده، و انجام موازنه جرم و انرژی، روزانه ۲۶۸۰۰ متر مکعب در مصرف گاز صرفه‌جویی می‌شود (۲۹)؛ در مطالعه دیگری نتایج نشان داده است که در صورت به کارگیری مدل DSM بر روی کاهش مصرف برق و انتشار کربن دی‌اکسید و مدیریت زمان‌های بهره‌وری کارخانه و انتقال آنها به زمان‌های غیر پیک، ۲٪ از انتشارات ناشی از مصرف برق در سال کاهش می‌یابد و سالانه ٤/۲٪ در کل هزینه‌های مصرف برق صرفه‌جویی می‌شود (۳۰)، بنابر مطالعه‌ای؛ در صورت بررسی حالت‌های متفاوت عملکرد مدار خردایش در کارخانه سیمان و انتخاب حالت بهینه ظرفیت تولید کارخانه به طور میانگین ۸ تن بر ساعت افزایش خواهد یافت و ۷۰۰۰ کیلو وات در روز نیز در مصرف برق صرفه‌جویی می‌شود (۳۱)؛ نتایج مطالعه دیگری نشان داده است که در صورت استفاده از لامپ‌های lED به جای لامپ‌های متال‌هالیدی و استفاده از سیستمVSD در قسمت‌های موتور دار جهت ذخیره انرژی، به ترتیب ۵۱/۸٪ و ۵۳/۵٪ در مصرف الکتریسیته صرفه جویی می‌شود (۳۲). همچنین مطالعه Atmaca و Kanoglu نشان داد در صورت استفاده از قانون اول و دوم ترمودینامیک در قسمت آسیاب موادخام کارخانه سیمان می‌توان راندمان این قسمت را بالا برد (۳۳)؛ پس نتایجی که در این پژوهش به آنها دست یافتیم با مطالعات دیگر همخوانی دارد. در صورتی که در کارخانه سیمان صوفیان از روش‌های دست‌یابی به تولید سبز استفاده کنیم و تلاش کنیم محصول تولید شده از همان ابتدا سمیت و در نتیجه انتشار آلابنده کمتری داشته باشد، با توجه به منابع بازیافتی ای که خود محصول یا سوخت آن می‌تواند باشد، شاخص خطی بودن جربان در کارخانه به طور چشم گیری کاهش خواهد یافت، هر چند در مورد این نوع پیشنهادات تخمینی در رابطه با هزینه راه‌اندازی آنها در دسترس نیست، اما انتشار مستقیم کربن دی‌اکسید نیز به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. بر اساس مطالعات فیرمن جانگسا در صورت استفاده از هیدروژن به عنوان سوخت جایگزین در کارخانه سیمان صوفیان انتشار کربن‌دی اکسید تا ٤٤٪ کاهش می‌یابد (۳٤)؛ در مطالعه دیگری که از کربن دی‌اکسید موجود در گاز دودکش‌ها جهت تولید نانو $CaCo_3$ به عنوان پرکننده سیمان استفاده می‌شد، در مقایسه با سیمان پرتلند معمولی انتشار کربن‌دی‌اکسید ٦۰٪ کمتر بود (۳۵)؛ همچنین در مطالعه دیگری امکان‌پذیری استفاده از پوزولانا به عنوان جایگزین بخشی از کلینکر مصرفی بررسی شد، که این جایگزینی منجر به کاهش انتشار کربن دی‌اکسید خواهد شد (۳). نتایج پژوهش ما نیز هم‌راستا با این مطالعات است. به طوری که نتایج این مطالعه نشان می دهد با به کارگیری استراتژی های در نظر گرفته شده در مطالعه می توان به سمت یک اقتصادی پویاتر و بر مبنای کاهش مصرف منابع و همچنین کاهش آسیب به محیط زیست گام برداشت که خود موجبات نیل به پایداری زیست محیطی خواهد بود.

نتیجه‌گیری

مدل اقتصاد چرخشی در کارخانه سیمان صوفیان می‌تواند به کارگرفته شود، با به کارگیری این پیشنهادات مدل اقتصادی کارخانه سیمان صوفیان از حالت کاملا خطی، در راستای چرخشی شدن حرکت می‌کند، این پیشنهادات علاوه بر اینکه از نظر اقتصادی موجب افرایش سود کارخانه می‌شود، میزان انتشار کربن دی‌اکسید از این کارخانه را نیز کاهش می‌دهد، لازم به ذکر است که هر چند این مقادیر کاهش انتشار از کارخانه درصدهای اندکی هستند اما با توجه به مقادیر انتشار از کارخانجات سیمان و تعدد آنها، همین مقادیر اندک کاهش نیز در جایگاه خود موثر خواهند بود، ضمنا این روش‌ها اثر تجمعی دارند و در صورتی که در بازه زمانی‌ای روش‌های متفاوت همراه با هم انجام شوند، مقادیر کاهش بیشتر خواهد شد. همچنین

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2024-08-24]

باتوجه به اینکه در مبحث اقتصاد چرخشی در صنایع پژوهش-های چندانی در کشور ما صورت نگرفته است و این طرح در مراحل اولیه اجرایی است بهتراست که در صنایع دیگر نیز امکان‌پذیری به کارگیری این الگو مورد پژوهش قرار بگیرد. ضمنا جهت کامل تر شدن اطلاعات موجود و گرفتن نتیجه‌های دقیق تر بهتر است کارخانجات سیمان به جای پایش‌های فصلی و سالانه، پایش‌های ماهانه داشته باشند.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از کارخانه سیمان صوفیان جهت در اختیار گذاشتن داده ها و اطلاعات تشکر و قدر دانی می شود. همچنین این مقاله حاصل نتایج پایان‌نامه مقطع کارشناسی ارشد با کد اخلاق و شماره پایان نامه IR.SBMU.PHNS.REC.1401.033 در دانشکده بهداشت و ایمنی دانشگاه علوم‌پزشکی شهید بهشتی می‌باشد.

جدول ۱- نحوه وارد کردن اطلاعات در اکسل در مطالعه ارزیابی پایداری زیست‌محیطی صنعت سیمان صوفیان مبتنی بر مدل اقتصاد چرخشی

محل اندازه گیری	ماه	پارامتر	M	F_R	F_U	F_S	V	C_R	C_U	C_E	W_0	E_C	W_C	E_F	W_F	W	LFI	L	L_{av}	U	U_{av}	X	$F(X)$	MCI

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2024-08-24]

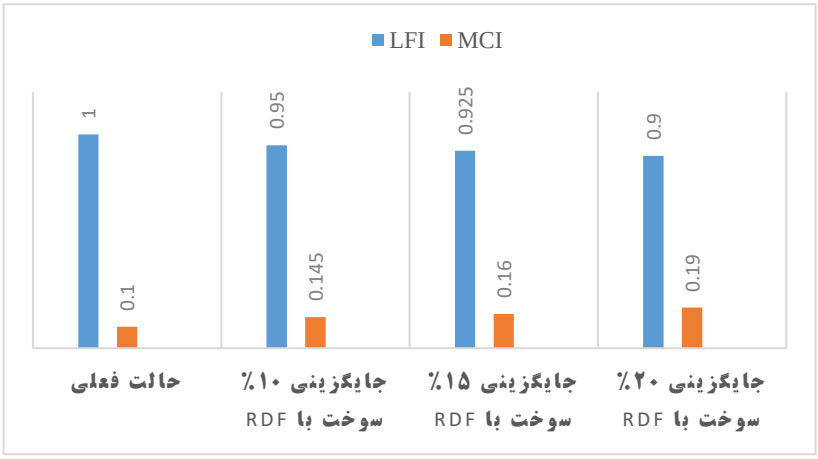
جدول ۲ – خلاصه راه‌حل‌های ارائه شده در مطالعه ارزیابی پایداری زیست محیطی صنعت سیمان صوفیان مبتنی بر مدل اقتصاد چرخشی

ردیف	واحد هدف	نوع اقدام	اقدام	شرح راه‌حل	نتیجه
۱	کوره	Cleaner production	جایگزینی سوخت	استفاده از RDF به جای مازوت	جایگزینی ۱۰٪ از مصرف مازوت با RDF
۲	واحد های مصرف کننده برق	Better services	به کارگیری مدل DSM (Demand side energy management)	مدیریت زمان‌های مصرف	کاهش ۲٪ از انتشارات ناشی از مصرف برق(۱۰۰۰تن در سال) صرفه جویی در ٤,۲٪ از کل هزینه‌های برق
۳	کوره	Cleaner production	استفاده از سیستم‌های CHP (Combined heat and power)	انرژی تولیدی از طریق یک سیستم واحد با ورودی سوخت معین تامین میگردد. در این سیستم‌ها مصرف کننده از شبکه برق مستقل میشود.	–
٤	کوره	Cleaner production	استفاده از بویلرهای بازیافت حرارت HRSG	تامین بخشی از انرژی الکتریکی کارخانه	تامین ۳۰٪ توان الکتریسیته کارخانه
۵	کوره	Better services	موازنه جرم و انرژی	محاسبه پتانسیل بهبود انرژی حرارتی هر یک از جریان‌ها	کاهش حداقل ۱۸۰٦ استاندارد مترمکعب گاز طبیعی در ساعت (معادل ۲٦۸۰۰ استاندارد متر مکعب گاز طبیعی در روز)
٦	آسیاب‌ها	Better services	افزایش راندمان در واحد با یافتن حالت بهینه‌ی عملکرد	بررسی عملکرد واحد در حالت‌های متفاوت وانتخاب حالت بهینه با بالاترین راندمان	افزایش ظرفیت تولید تا ۸ تن ۷۰۰۰ کیلووات صرفه‌جویی در مصرف انرژی
۷	کوره	Cleaner production	استفاده از عایق حرارتی، ژنراتور بخار	عایق حرارتی مانند پشم شیشه جهت کاهش مبادله حرارتی، استفاده از بخار تولید شده جهت تولید الکتریسیته	عایق حرارتی موجب صرفه‌جویی در ۳ مگاوات برق مصرفی، ژنراتور بخار و واسطه، صرفه‌جویی در ۱ مگاوات برق مصرفی
۸	کوره	Cleaner production	جایگزینی سوخت	استفاده از RDFو TDFبا استفاده از فناوری هات دیسک یا مولتی برنر یا استفاده ترکیبی	صرفه‌جویی در مصرف ۲۰ میلیون متر مکعب گاز
۹	همه‌ی واحدها	Better services	بهبود سیستم تعمیرات و نگهداری	نگهداری اصلاح گرایانه، نگهداری پیشگیرانه، نگهداری پیشگویانه،	کاهش توقفات موردی و هدایت آنها به سوی برنامه ریزی شدن، افزایش راندمان تجهیزات، بهبود

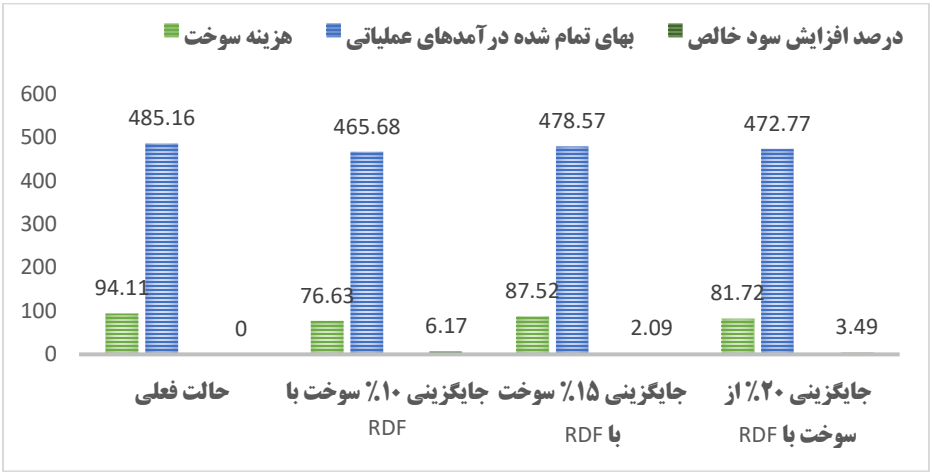
[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2024-08-24]

					سیستم تولید از نظر کمی و کیفی
۱۰	کوره	Green production	تولید برق از حرارت	مشابه سیستم تولید برق یک نیروگاه کوچک بخار	تولید ٦ مگاوات برق در کارخانه‌ای با ظرفیت ۳۰۰۰تن درروز
۱۱	قسمت‌های موتور دار لامپ‌های به کاررفته	Better services	استفاده از VSD در قسمت‌های موتور دار، جایگزینی لامپ ها با LED	استفاده از VSD به عنوان خازن، جهت تصحیح ضریب توان سیستم، استفاده از لامپ LED به جای متال هالیدی	استفاده از VSD، ذخیره انرژی تا ۵۳,۵٪ استفاده از LED، ذخیره انرژی تا ۵۱,۸۹٪
۱۲	کوره	Cleaner production/ Green production	جایگزینی سوخت، کلینکر و بازیابی حرارت با System Dynamics	تامین۱۵٪ از انرژی حرارتی با استفاده از RDFو TDF جایگزینی ۱۵٪ کلینکر با پوزولان بازیابی انرژی حرارتی جهت تولید برق	جایگزینی کلینکر، ۱۵ میلیون تن کاهش انتشار کربن دی‌اکسید، تا سال ۲۰۳٤ صرفه جویی در هزینه های مصرف انرژی به ترتیب ۷٪،۱۱٪ و ۰٪
۱۳	کوره	Green production	جایگزینی سوخت	سوخت بر پایه‌ی هیدروژن از تجزیه‌ی آمونیاک	٤٤٪کاهش انتشار کربن‌دی اکسید
۱٤	آسیاب‌ها	Better services	بالابردن راندمان با به کارگیری قانون اول و دوم ترمودیناک		کاهش ٦,۷٪ مصرف انرژی دخیره ۱/٦٦ کیلووات انرژی به ازای هر تن مخلوط ماده خام
۱۵	کوره	Green production	استفاده از کربن دی‌اکسید گاز دودکش، تولید Nano $CaCO_3$	استفاده از Nano $CaCO_3$ به عنوان پرکننده سیمان	در مقایسه با سیمان پرتلند معمولی، سیمان پر شده با Nano $CaCO_3$، ٦۰٪ کاهش انتشار
۱٦	کوره، دودکش کوره	Green production	استفاده از یک دیگ بازیابی حرارت، استفاده از توربین بخار		در صورت استفاده از دیگ بازیابی حرارت، ۲۳۹۳۱ کیلوژول بر ثانیه بازیافت حرارت و افزایش راندمان تولید برق ۲۳/۵٪ در صورت استفاده از توربین بخار، ۲۱۲۵۳ ژول بازیافت حرارتی و ۲۲/۲٪ افزایش راندمان تولید برق
۱۷	دودکش کوره	green production	جذب CO_2 از جریان گاز دودکش	یک مدل متحرک جذب کربن دی‌اکسید، با استفاده از حلال S26	

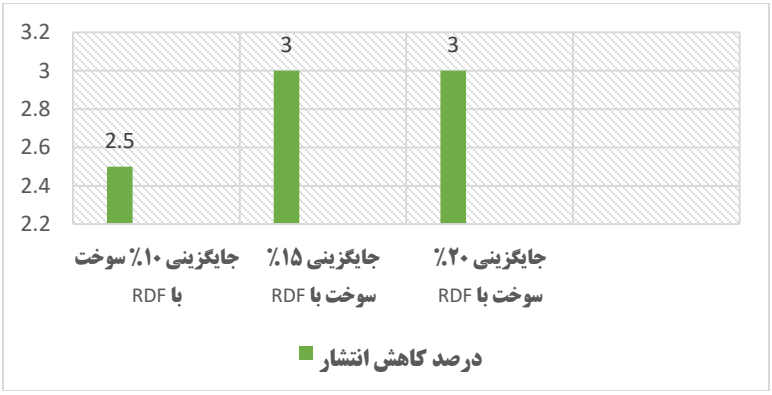
[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2024-08-24]



(الف)



(ب)



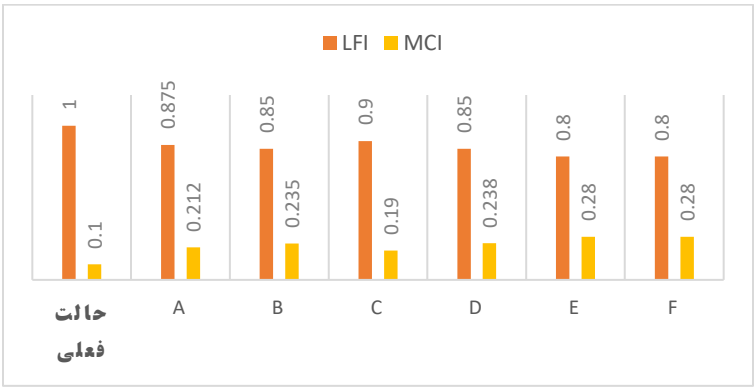
(ج)

شکل ۱ –تغییرات ایجاد شده در صورت جایگزینی سوخت با RDF

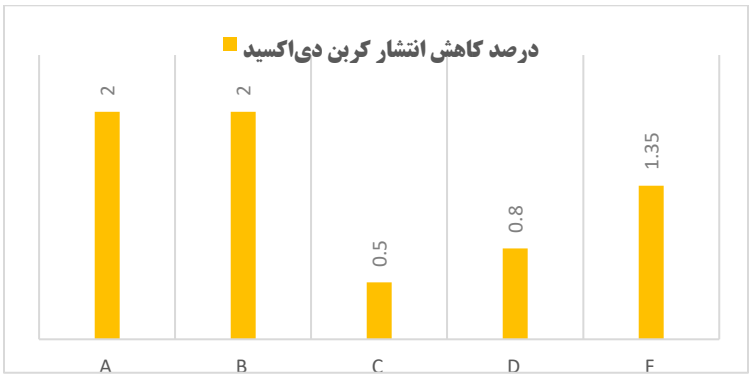
(الف) تغییرات شاخص‌های اقتصاد چرخشی، (ب) تغییرات شاخص‌های مالی، (ج)تغییرات انتشار کربن‌دی‌اکسید در مطالعه ارزیابی پایداری زیست‌محیطی

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2024-08-24]

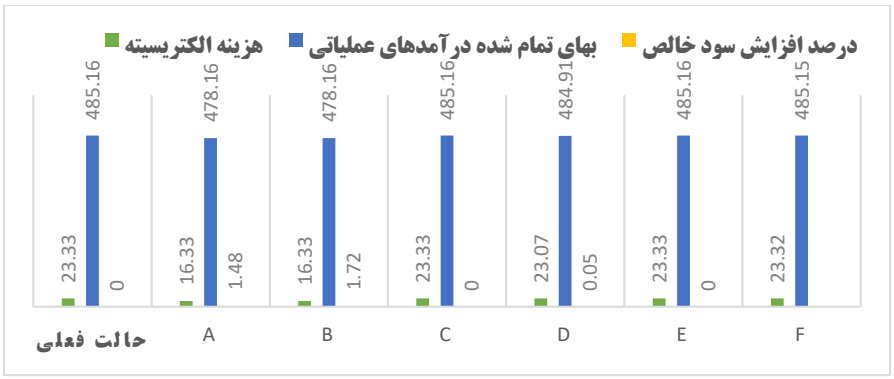
صنعت سیمان صوفیان مبتنی بر مدل اقتصاد چرخشی



(الف)



(ب)



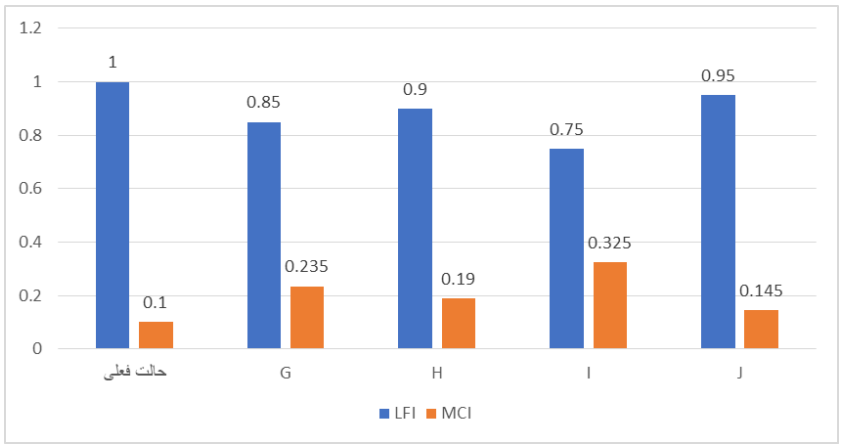
(ج)

شکل۲- تغییرات ایجاد شده در صورت به کارگیری راه‌حل‌های بازیابی انرژی

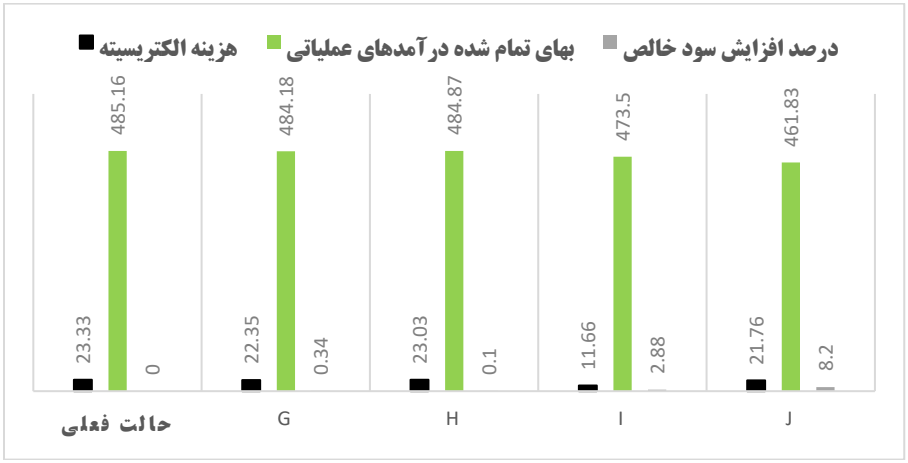
(الف) تغییرات شاخص‌های اقتصاد چرخشی، (ب) تغییرات انتشار کربن‌دی‌اکسید، (ج) تغییرات شاخص‌های مالی

A: استفاده از سیستم‌های CHP (راه‌حل شماره ۳)، B: استفاده از بویلرهای HRSG (راه حل شماره٤)، c: استفاده از ژنراتور بخار (راه حل شماره ۷)، D: استفاده از یک نیروگاه کوچک بخار (راه‌حل شماره۱۰)، E: استفاده از بازیابی حرارت (راه‌حل شماره۱۲)،F : استفاده از دیگ بازیابی حرارت (راه‌حل شماره ١٦) در مطالعه ارزیابی پایداری زیست‌محیطی صنعت سیمان صوفیان مبتنی بر مدل اقتصاد چرخشی

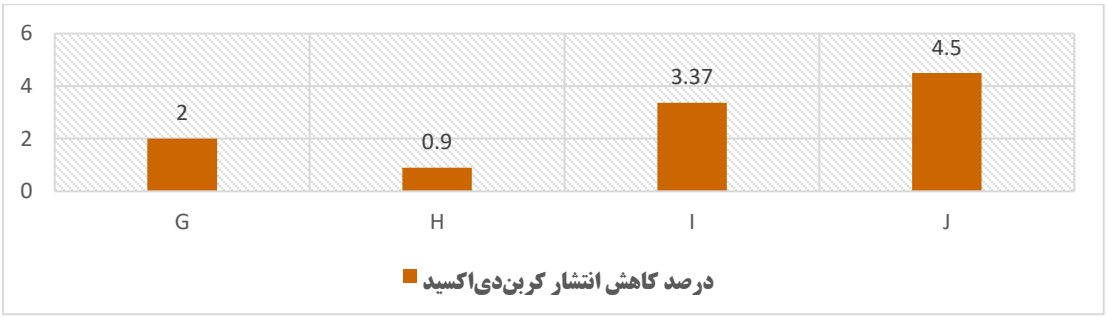
[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2024-08-24]



(الف)



(ب)



(ج)

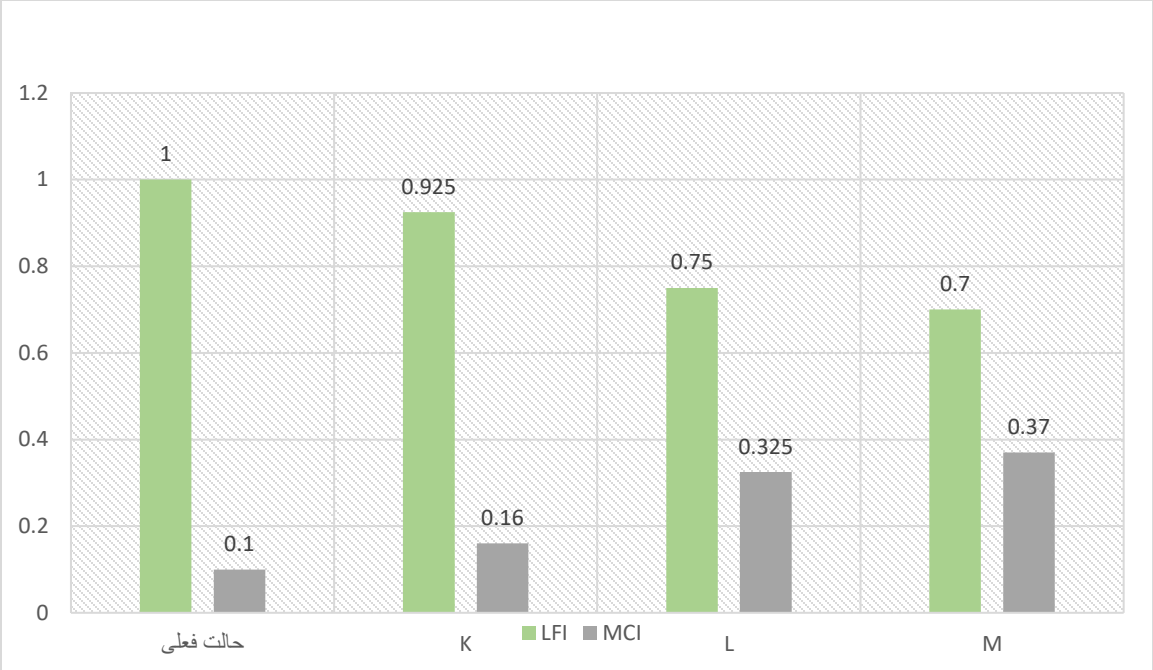
شکل ۳ – تغییرات ایجاد شده در صورت به کارگیری راه‌حل‌های افزایش راندمان

(الف) تغییرات شاخص‌های اقتصاد چرخشی، (ب) تغییرات شاخص‌های مالی، (ج) تغییرات انتشار کربن‌دی‌اکسید

G: استفاده از مدل DSM (راه‌حل شماره۲)، H: انتخاب حالت بهینه در آسیاب‌ها (راه‌حل شماره ٦)،

I: استفاده از VSD (راه‌حل شماره ۱۱)، J: بکارگیری قانون اول و دوم ترمودینامیک (راه‌حل شماره ١٤) در مطالعه ارزیابی پایداری زیست‌محیطی صنعت سیمان صوفیان مبتنی بر مدل اقتصاد چرخشی

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2024-08-24]



شکل ٤- تغییرات ایجاد شده در شاخص‌های اقتصاد چرخشی در صورت به کارگیری روش‌های تولید سبز

K: جایگزینی کلینکر (راه حل شماره ۱۲)، L: استفاده از سوخت برپایه هیدروژن (راه‌حل شماره ۱۳)، M: استخراج کربن دی اکسید از دودکش (راه حل شماره ۱۵) در مطالعه ارزیابی پایداری زیست‌محیطی صنعت سیمان صوفیان مبتنی بر مدل اقتصاد چرخشی

References

1. Cement Statistics and Information | U.S. Geological Survey.
2. Sufian S. History of the company - Sufian Cement official website of Sufian Cement Company: https://soufiancement.com/history/; [Available from: https://soufiancement.com/history/.
3. Jokar Z, Mokhtar A. Policy making in the cement industry for CO2 mitigation on the pathway of sustainable development- A system dynamics approach. Journal of Cleaner Production. 2018;201:142--55.
4. Bacatelo M, Capucha F, Ferro P, Margarido F. Selection of a CO2 capture technology for the cement industry: An integrated TEA and LCA methodological framework. Journal of CO2 Utilization. 2023;68:102375.
5. Ahmed M, Bashar I, Alam ST, Wasi AI, Jerin I, Khatun S, et al. An overview of Asian cement industry: Environmental impacts, research methodologies and mitigation measures. Sustainable Production and Consumption. 2021;28:1018--39.
6. Khan K, Su CW, Khurshid A. Circular economy: The silver bullet for emissions? Journal of Cleaner Production. 2022;379:134819.
7. Aghamolai, Iman, Lashkaripour, and Ghafouri. (2015). Assessment of air pollution caused by the cement industry: a case study of Kerman cement factory. Iran Occupational Health, 12.
8. Zarandi, S. M., Shahsavani, A., Nasiri, R., and Pradhan, B. (2021). A hybrid model of environmental impact

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2024-08-24]

assessment of PM 2.5 concentration using multi-criteria decision-making (MCDM) and geographical information system (GIS)—a case study. *Arabian Journal of Geosciences*, *14*, 1-20.

9. Motesaddizarandi, S., and Nasiri, R. (2020). Spatio-temporal analysis of PM2. 5 pollutant in Tehran metropolis during the years 2014-2017. *Journal of Research in Environmental Health*, *6*(3), 211-220.
10. Motesadi Zarandi, S., Nasiri, R., and Motlagh, M. E. (2021). Modeling of the relationships between spatio-temporal changes of traffic volume and particulate matter-2.5 pollutant concentration based on geographically weighted regression (GWR) and inverse distance weighting (IDW) model: a case study in Tehran metropolis, Iran. *Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research*, *19*(1), 21-34.
11. Nasiri, R., Zarandi, S. M., Bayat, M., & Amini, A. (2022). Design a protocol to investigate the effects of climate change in vivo. *Environmental Research*, *212*, 113482.
12. Nasiri, R., Motesaddi Zarandi, S., & Motlagh, M. E. (2022). Climate Change and the Challenges of Quantitative Assessment of Urban Climate Change: A Case Study in Tehran Metropolis. *Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research*, *19*(3), 293-314.
13. Bherwani H, Nair M, Niwalkar A, Balachandran D, Kumar R. Application of circular economy framework for reducing the impacts of climate change: A case study from India on the evaluation of carbon and materials footprint nexus. Energy Nexus. 2022;5:100047.
14. MacArthur E. Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change. 2019;3:62.
15. Dong S, Wang Z, Li Y, Li F, Li Z, Chen F, et al. Assessment of Comprehensive Effects and Optimization of a Circular Economy System of Coal Power and Cement in Kongtong District, Pingliang City, Gansu Province, China. Sustainability. 2017;9(5).
16. Ramsheva Y, Remmen A. Industrial symbiosis in the cement industry - Exploring the linkages to circular economy. 2018:35--53.
17. de Souza JFT, Pacca SA. A low carbon future for Brazilian steel and cement: A joint assessment under the circular economy perspective. Resources, Conservation & Recycling Advances. 2023;17:200141.
18. Martnez-Martnez S, Prez-Villarejo L, Eliche-Quesada D, Snchez-Soto PJ, Christogerou A, Kanellopoulou DG, et al. New waste-based clinkers for the preparation of low-energy cements. A step forward toward circular economy. International Journal of Applied Ceramic Technology. 2020;17(1):12--21.
19. Rohan M. INDUSTRIA CIMENTULUI ŞI BETONULUI PARTE INTEGRANTĂ A ECONOMIEI CIRCULARE CEMENT AND CONCRETE INDUSTRY INTEGRAL PART OF THE CIRCULAR ECONOMY - PDF Free Download. Romanian journal of materials. 2016;46(3):253--8.
20. Lake DJ. Making Cement from Demolished Concrete: A Potential Circular Economy Through Geopolymer Chemistry. Ecocities Now: Building the Bridge to Socially

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2024-08-24]

Just and Ecologically Sustainable Cities. 2020:107--17.
21. elen mac arthur F. Circularity-Indicators-Methodology | Shared by Business. 2019.
22. Mohammadi A. Usage of RDF as an alternative fuel in cement industry. 1397.
23. Kamkar Z, Abdoli M, Pourkarimi A. Assessing usage of mancipal wastes of Shiraz as fuel. 1389.
24. Alipour M, Baniamerian Z. Simulating the simultaneous production of electricity and heat to optimize energy consumption in a cement factory. 1398;undefined (undefined).
25. Ebrahimi M. Energy Production by using waste heat at Urimeh cement factory. 1391.
26. Aneghi A, Esbati H. Improvments in energy consumption by using kilin heat at Zabol cement factory. 1397.
27. Najafi A. Energy presevation assessment in Cement industries. 1391.
28. Naeimi A, Bidi M, Ahmadi MH, Kumar R, Sadeghzadeh Ma. Design and exergy analysis of waste heat recovery system and gas engine for power generation in Tehran cement factory. Thermal Science and Engineering Progress. 2019;9:299--307.
29. Kolali H, Imani P. Finding the potential of reducing thermal energy consumption in the baking department of cement factories. The fourth national conference of the cement industry and the future horizon1397.
30. Summerbell DL, Khripko D, Barlow C, Hesselbach J. Cost and carbon reductions from industrial demand-side management: Study of potential savings at a cement plant. Applied Energy. 2017;197:100--13.
31. Ghaedi H, Yousefi A, Ghaedi M. Improvment in energy usage at clicker grinding step in Lamer cement factory. 1395.
32. Verma Y, Mazumdar B, Ghosh P. Dataset on the electrical energy consumption and its conservation in the cement manufacturing industry. Data in Brief. 2020;28:104967.
33. Atmaca A, Kanoglu M. Reducing energy consumption of a raw mill in cement industry. Energy. 2012;42(1):261--9.
34. Juangsa FB, Cezeliano AS, Darmanto PS, Aziz M. Thermodynamic analysis of hydrogen utilization as alternative fuel in cement production. South African Journal of Chemical Engineering. 2022;42(October 2021):23--31.
35. Batuecas E, Liendo F, Tommasi T, Bensaid S, Deorsola FA, Fino D. Recycling CO2 from flue gas for CaCO3nanoparticles production as cement filler: A Life Cycle Assessment. Journal of CO_2 Utilization. 2021;45(December 2020):101446.

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2024-08-24]

Environmental Sustainability Assessment of Sufian Cement Industry On the Basis of Circular Economy Model

Seyedeh Sahar Ghaemmaghami Hezaveh[1], Rasul Nasiri[2], MohamadReza Masoudinezhad[3], Saeed Motassadi Zarandi[*3], Morteza Tahamipour[4]

1. MSc. Student, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences,Tehran, Iran
2. PhD. Air Pollution Research Center, Iran University of Medical Sciences,Tehran, Iran
3. Ph.D. Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences,Tehran, Iran
4. Ph.D. Assistant Professor, Department of Economics, School of economics and political sciences, Shahid Beheshti University, Tehran,Iran

*Corresponding Author: smotesaddi@sbmu.ac.ir

Received: Oct 10, 2023 **Accepted: Apr 22, 2024**

ABSTRACT

Background and Aim: Cement production is the source of 7% of global CO2 emissions. In order to reduce emissions by 0.7% annually until 2030, the cement industries can adopt the circular economy model. The present study aimed to assess the environmental sustainability of the Sufian cement industry based on the circular economy model.

Materials and Methods: Based on the circular economy model of the Ellen MacArthur Foundation, this research was conducted in three steps in the Sufian Cement Factory in 2021-22: Step1. Data were collected on fuel consumption, electricity, water, production waste, released gases and costs; Step 2. Based on literature review and experts opinions strategies and solutions to move towards a circular economy were determined; Step 3. The index of linearity and rotation in the current and future state was calculated for the Sufian cement industry.

Results: The data obtained showed that the Sufian cement industry is currently heavily dependent on primary raw materials and operates in a linear economy. Implementing the recommended strategies would be expected to reduce the linearity index to below 1 and increase the rotation index to above 0.1. These findings indicate a positive shift towards a circular economy.

Conclusion: The findings of this study reveal that the Sufian cement industry is currently totally based on linear economy, but it can, through implementing the relevant strategies, potentially transit to a circular economy, which will increase the factory's net profit, protect resources and reduce CO2 emissions.

Keywords: Soufian Cement, Circular Economy Model, Environmental Sustainability

Copyright © 2024 Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International license (https://creativecommons. org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

[Downloaded from sjsph.tums.ac.ir on 2024-08-24]